



PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
E INOVAÇÕES



**PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL

Presidente da República

Jair Messias Bolsonaro

Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovações

Paulo César Rezende de Carvalho Alvim

Secretário-Executivo

Sérgio Freitas de Almeida

Secretário de Empreendedorismo e Inovação

José Gustavo Sampaio Gontijo

Diretor de Tecnologias Aplicadas - DETAP

Eduardo Soriano Lousada

Coordenador-Geral de Tecnologias Habilitadoras

Felipe Silva Bellucci



PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)
Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI)
Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 3º andar. 70067-900, Brasília, DF, Brasil
Telefone: (61) 2033-7800 / 2033-7424
sempi@mcti.gov.br e cgth@mcti.gov.br
<https://www.gov.br/mcti>

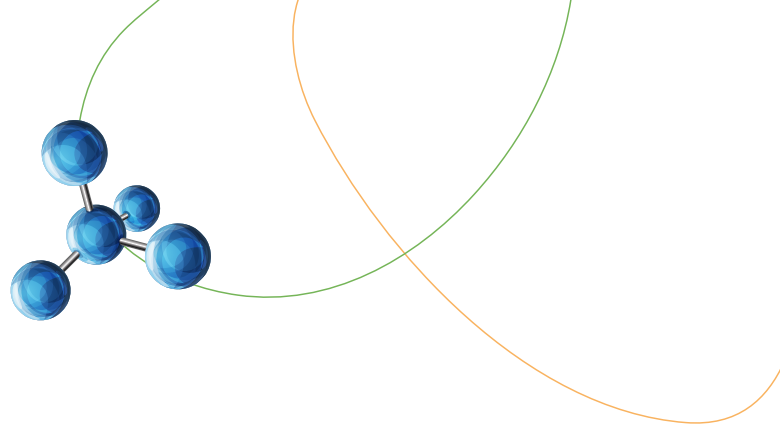
**Equipe Técnica da Coordenação-Geral de Tecnologias
Habilitadoras (CGTH-DETAP-SEMPI-MCTI)**

Felipe Silva Bellucci – Tecnologista – Coordenador-Geral de Tecnologias Habilitadoras
Marcondes Moreira De Araújo – Analista em C&T
Helyne Gomes de Paiva – Assistente em C&T
Luciana Landim Carneiro Estevanato – Tecnologista
Luciene da Graça da Costa – Analista em C&T
Paulo Frank Bertotti – Assistente em C&T
Ricardo Henrique Padilha de Castro – Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental
Rogério Vilela Borges de Andrade Franco – Assistente em C&T
Sandra Pacheco Renz – Analista em C&T

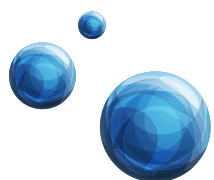
Todos os direitos reservados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI).

Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citadas as fontes.

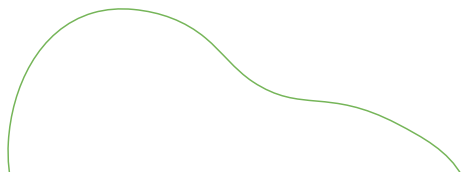
B823 Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.
Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação em materiais avançados/
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, Secretaria de
Empreendedorismo e Inovação. - Brasília: Ministério da Ciência,
Tecnologia e Inovações, 2022.
125 p.
ISBN: 978-65-87432-44-1
1. Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais
Avançados. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Desenvolvimento
Econômico. I. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações.
CDU: 62-027.65



APRESENTAÇÃO	9
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Visão da política de ciência, tecnologia e inovação em materiais avançados.....	19
1.2 Finalidade da política de ciência, tecnologia e inovação em materiais avançados.....	19
1.3 Princípios da política de ciência, tecnologia e inovação em materiais avançados.....	20
1.4 Objetivos gerais da política de ciência, tecnologia e inovação em materiais avançados.....	20
1.5 Objetivo deste plano de ciência, tecnologia e inovação em materiais avançados.....	20
1.6 Temas estratégicos.....	21
2. ESTRATÉGIA ORÇAMENTÁRIA / FINANCIAMENTO	31
2.1 Eixos de desenvolvimento sustentável.....	32
2.2 Governança.....	34
2.3 O crescente valor estratégico dos materiais avançados.....	36
3. SÚMULA: ESTRATÉGIAS GLOBAIS EM PD&I EM MATERIAIS AVANÇADOS E A INDÚSTRIA DE MANUFATURA	89
3.1 Objetivos – materiais avançados.....	91
4. IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DE CT&I DE MATERIAIS AVANÇADOS.....	95
5. METAS E INDICADORES PARA MATERIAIS AVANÇADOS.....	111
CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
DOCUMENTOS REFERENCIAIS CONSULTADOS	116
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	128
CONTATO E INTERLOCUÇÃO.....	130



SUMÁRIO



PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

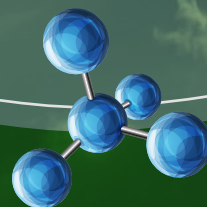
EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

gov.br/mcti

APRESENTAÇÃO

1



APRESENTAÇÃO

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) tem suas áreas de competência definidas pelo Decreto nº 10.463, de 14 de agosto de 2020, **cujo** Anexo I, art. 1º, incisos I e VIII, incluem: “I - *políticas nacionais de pesquisa científica e tecnológica e de incentivo à inovação;*” e “VIII - articulação com os governos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, com a sociedade e com órgãos do Governo federal com vistas ao estabelecimento de diretrizes para as políticas nacionais de ciência, tecnologia e inovação.”¹ O Decreto nº 10.534, de 28 de outubro de 2020, que Institui a Política Nacional de Inovação e dispõe sobre a sua governança atribui, no Art. nº 12, ao MCTI, o papel de Secretaria Executiva da Câmara de Inovação².

Em 2015, o MCTI lançou a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022), atualizada em 2017, como principal orientação estratégica de médio prazo para o planejamento e implementação das políticas públicas em CT&I na esfera federal do poder executivo. Seu principal objetivo busca contribuir para o Brasil atingir um novo patamar de desenvolvimento pela construção de uma sociedade e uma economia baseadas no conhecimento e na inovação. Além dos desafios nacionais em CT&I, e dos eixos estruturantes e pilares fundamentais, a ENCTI 2016-2022 elenca doze (12) temas estratégicos para o desenvolvimento da capacidade científica, tecnológica e inovadora nacional, incluindo a emergente, transversal e habilitadora área-chave dos Materiais Avançados.

A literatura nacional e internacional, conjugada a instrumentos modernos de planejamento de políticas públicas em economias avançadas e organismos multilaterais (Ex. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e o Fórum Econômico Mundial (FEM)), destacam: “*Materiais Avançados*” abrangem e agregam múltiplas tipologias, interfaces e variantes de tecnologias estratégicas que incluem, de forma, não limitante, nem exaustiva: Nanomateriais de carbono, grafeno, biomateriais, nióbio, lítio, titânio, minerais estratégicos e terras raras, fotônica, biotecnologia, inteligência artificial, aprendizagem de máquina, internet das coisas, eletrônica avançada, robótica avançada, indústria digital. Esse

¹ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10463.htm

² https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10534.htm

destaque reconhecido mundialmente é necessário para demonstrar a importância em termos de conceito, escopo, limites e vasta abrangência da emergente área de “Materiais Avançados” nas interfaces da Ciência, Tecnologia, Engenharia, Inovação, Indústria, Negócios, Meio ambiente e Sociedade.

Em desdobramento à ENCTI, em dezembro de 2018, o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) lançou o *Plano de Ação para a Promoção da Inovação Tecnológica 2018 - 2022*, destacando em suas principais linhas de ação: i) o marco legal da CT&I; ii) o apoio aos ambientes de inovação e empreendedorismo; iii) os Incentivos ao desenvolvimento tecnológico e à inovação; e, iv) o apoio aos serviços tecnológicos e à gestão da inovação.

A evolução normativa-institucional com efeito na área de Materiais Avançados inclui a Portaria MCTI nº 5.109, de 16 de agosto de 2021, que definiu as prioridades do Ministério para os projetos de pesquisa, desenvolvimento de tecnologias e inovações, no período 2021 a 2023. Objetivos: i) contribuir para a alavancagem em setores com maiores potencialidades para aceleração do desenvolvimento econômico e social do País; ii) promover o alinhamento institucional de todos órgãos que integram a estrutura organizacional do MCTI, com intuito de obter sinergia para uma melhor alocação de recursos orçamentários e financeiros, humanos, de logística e de infraestrutura; e, iii) racionalizar o uso dos recursos orçamentários e financeiros, conforme a programação inicial do PPA 2020-2023. O Parágrafo Único do Art. 4º da referida Portaria define como objetivo das tecnologias habilitadoras, que incluem o setor de materiais avançados, “*contribuir para a base de inovação em produtos intensivos em conhecimento científico e tecnológico*”³.

Diante da importância dos Materiais Avançados para o País, o Decreto nº 10.746, de 9 de julho de 2021, publicado em 12 de julho de 2021, instituiu a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados e o Comitê Gestor de Materiais Avançados⁴. Sua finalidade visa orientar o planejamento, as ações e as atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico, inovação e empreendedorismo na cadeia de valor de materiais avançados no País, com vistas à agregação de valor em produtos, serviços e processos para a promoção do desenvolvimento social e econômico. O Decreto determina também a elaboração, pelo MCTI, de Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação em Materiais Avançados, com vigência de quatro anos, considerando um cenário esperado para os próximos vinte anos.

³ <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mcti-n-5.109-de-16-de-agosto-de-2021-338589059>

⁴ <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.746-de-9-de-julho-de-2021-331333877>

Nesse contexto, o MCTI, por meio da Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI), do Departamento de Tecnologias Aplicadas (DETAP) e da Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH), em conformidade aos instrumentos normativos mencionados, e considerando os eixos de ação definidos na Estratégia Nacional de Inovação (ENI – aprovada pela RESOLUÇÃO Câmara de Inovação CI nº 1, publicada em 26 de julho de 2021), apresenta à sociedade seu Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação em Materiais Avançados (PCTIMA). O mesmo é uma evolução do Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras – Volume 2 – Materiais Avançados, aprovado, em 2019, pelo MCTI.

O presente Plano está organizado em dezesseis seções: Introdução; Visão da Política de CT&I de Materiais Avançados; Finalidade da Política de CT&I de Materiais Avançados; Princípios da Política de CT&I de Materiais Avançados; Objetivos da Política de CT&I de Materiais Avançados; Objetivo do Plano de CT&I de Materiais Avançados; Temas Estratégicos; Estratégia Orçamentária e Financiamento; Eixos de Desenvolvimento Sustentável; Governança; Crescente Valor Estratégico dos Materiais Avançados; Súmula das Principais Estratégias Globais em P,D&I de Materiais Avançados e a Indústria de Manufatura; Objetivos dos Materiais Avançados; Implementação do Plano de C,TI de Materiais Avançados; Metas e Indicadores para o Plano de C,T&I em Materiais Avançados; Considerações Finais.

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

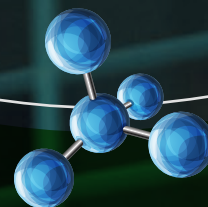
EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

gov.br/mcti

INTRODUÇÃO

1



1. INTRODUÇÃO

A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE), incluiu, no escopo das fortes transformações na indústria, os avanços em química, biotecnologia e nanotecnologia, que permitem a criação de Materiais Avançados, mais resistentes, mais leves, mais flexíveis, com novas funcionalidades e propriedades de adaptação para emprego em produtos, processos e soluções inovadoras e disruptivas⁵. “O Brasil é um Parceiro-Chave da OCDE, com quem mantém uma cooperação desde início dos anos 1990. Em 16 de maio de 2007, o Conselho Ministerial da OCDE adotou uma resolução fortalecendo a cooperação com o Brasil, assim como com a China, Índia, Indonésia e África do Sul, através de um programa de maior engajamento, definindo estes países “Parceiros-Chaves” da OCDE. Nessa qualidade, o Brasil tem a possibilidade de participar dos diferentes órgãos da organização, aderir aos seus instrumentos legais e práticas, se integrar às estatísticas e revisões por pares de setores específicos da OCDE, e tem sido convidado a participar das reuniões Ministeriais da OCDE desde 1999.”⁶

Em 2019, segundo a consultoria especializada R&D World, o investimento global em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em 110 países com investimento igual ou superior a US\$100 milhões, atingiu US\$2,3 trilhões em Paridade do Poder de Compra (PPC, aumento de 3,6% sobre 2018)⁷. Em 2020, somente nos EUA, o investimento total em P&D atingiu US\$ 609,7 bilhões (aumento de 2,2% sobre 2019) assim distribuídos: Organizações industriais cerca de US\$ 401,8 bilhões (65,9% do total); Governo US\$ 162,8 bilhões (26,7% do total); e as Organizações acadêmicas US\$23,2 bilhões (3,8% do total)⁸. O estudo destaca que, em média,

⁵ OECD The Next Production Revolution: Implications for Governments and Businesses, OECD Publishing, Paris. 2017. - <https://www.oecd.org/governance/the-next-production-revolution-9789264271036-en.htm>. Acesso 29/04/2020.

⁶ (<https://www.oecd.org/latin-america/paises/brasil-portugues/>)

⁷ Global Funding Forecast Predicts Growth of R&D Spending Worldwide. <https://www.rdworldonline.com/global-funding-forecast-predicts-growth-of-rd-spending-worldwide/>. Acesso 10/08/2021.

⁸ U.S. R&D buoyed by government support. <https://www.rdworldonline.com/u-s-rd-buoyed-by-government-support/>. Acesso 10/08/2021.

ao menos 80% do total investido em P&D nos EUA, são dirigidos para a pesquisa aplicada e o desenvolvimento experimental⁹.

Em 2021, segundo a consultoria global McKinsey, especializada em mercados de base tecnológica, as tendências, forças e oportunidades relativas a 12 tecnologias emergentes, apresentam o potencial de impactar a economia global entre US\$17,9 tri a US\$45,3 tri.¹⁰ Segundo a *Think Tank* inglesa Oxford Research, em 2020, o potencial agregado do mercado global associado aos Materiais Avançados atingiu R\$750 bilhões de reais, com estimativa de atingir R\$1,30 trilhões, em 2030, e R\$ 4,50 trilhões, até 2050¹¹. Na disruptiva área da bioeconomia, dependente do desenvolvimento e aplicação de Materiais Avançados, estima-se para 2026, um impacto econômico global de US\$1,111tri¹².

O desenvolvimento da Ciência, Engenharia, Tecnologia e Inovação na área de materiais vincula-se à própria evolução da espécie humana no planeta. Os materiais definem denominações de períodos históricos como a idade da pedra e dos metais (bronze, cobre e ferro) e garantiram às sociedades com maior domínio de sua utilização, manufatura e transformação, vantagens essenciais à sobrevivência particularmente a partir da superioridade na agricultura, indústria e na guerra. Atualmente, os Materiais Avançados despertam grande interesse em governos nacionais, empresas privadas e academia, sendo fundamentais para a promoção da inovação tecnológica, aumento da competitividade, agregação de valor e qualidade vida da população.

De caráter multidisciplinar e multissetorial, os Materiais Avançados impactam várias áreas e setores da economia moderna. Desde as aplicações eletromagnéticas, eletrônicas e fotônicas, à energia, defesa nacional e segurança pública, comunicações, infraestrutura, habitação, saneamento, saúde humana e animal, transportes e mobilidade, atividades espaciais, meio ambiente, recursos naturais minerais e biológicos e tribologia. Como demonstrado a partir de 2020 com a emergência da pandemia de Covid-19, sua natureza essencial e multidisciplinar pôde criar novas possibilidades às buscas de soluções em todas as áreas do conhecimento técnico-científico diminuindo restrições à pesquisa, desenvolvi-

⁹ National Science Board – The State of U.S Science and Engineering 2020. - <https://ncses.nsf.gov/pubs/nsb20201/>. Acesso 15/08/2021.

¹⁰ Technology & Telecommunications: Forecast economic impact of disruptive technologies in 2025, by technology type. - <https://www.statista.com/statistics/826712/worldwide-disruptive-technologies-economic-impact-forecast/>. Acesso 19/08/2021.

¹¹ Technology and Market Perspective for Future Value Added Materials. Final Report from Oxford Research AS, European Commission. 2012. Disponível - https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/technology-market-perspective_en.pdf. Acesso 11/09/2021.

¹² Plataforma Europeia Aberta de Inovação para Bioeconomia (Biopen). - <https://renewable-carbon.eu/news/the-global-biorefinery-products-market-is-expected-to-reach-1110-9-billion-by-2026/>

mento, inovação, produção e comercialização (exportação e importação) de novos processos e produtos para fazer frente às novas necessidades da saúde, em especial na produção de vacinas, Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

As primeiras ações estruturadas de apoio do MCTI, CNPq e Finep na área de materiais iniciam-se em 2001, com a criação do programa “Rede BrasilNano” de P&D em Nanotecnologia e dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), com investimento direto, em 20 anos, estimado em cerca de R\$3,0 bilhões. Assim, nas duas últimas décadas, incluindo a área de materiais, o Brasil construiu um importante sistema de pesquisa e pós-graduação, com grande avanço na formação e capacitação de capital humano em várias áreas e setores abrangidos pela Ciência, Tecnologia e Inovação, com substancial ampliação da produção científica nacional.

Todavia, o reconhecido avanço da nossa ciência ainda não se reflete adequadamente na melhoria dos principais indicadores de inovação tecnológica e dinamismo econômico nas empresas. O desafio está amplamente demonstrado em edições recentes de importantes estudos nacionais e internacionais sobre inovação: i) Pesquisa de Inovação Tecnológica, realizada pelo IBGE a cada 3 anos (PINTEC-2017); ii) Competitividade Brasil 2019-2020, da Confederação Nacional da Indústria (CNI); iii) Índice Global de Inovação (GII-WIPO-2021, da Organização das Nações Unidas para a Propriedade Intelectual (WIPO) com as escolas de negócios da Universidade Cornell/EUA e INSEAD/França); iv) Índice da Competitividade Global (GCI-2020 do Fórum Econômico Mundial); v) Ranking da competitividade mundial da escola de negócios IMD; vi) Estudo 2021 “fazendo negócios” do Banco Mundial.

Dentre as iniciativas recentes de política pública para reverter esse reconhecido quadro de baixo desempenho tecnológico e inovação empresarial, destaca-se o novo Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação¹³. O marco, por meio do Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018¹⁴, regulamenta a Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016¹⁵, para aprimorar as medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo, visando a capacitação tecnológica, a autonomia tecnológica e o desenvolvimento do sistema produtivo nacional e regional, nos termos da Constituição Federal. O novo marco legal da CT&I consagra a Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015¹⁶, que adicionou dispositivos na Constituição Federal para atualizar e modernizar a interpretação

¹³ https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/arquivos/ASCOM_PUBLICACOES/marco_legal_de_cti.pdf

¹⁴ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm

¹⁵ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13243.htm

¹⁶ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc85.htm

jurídica das atividades de Ciência, Tecnologia e Inovação em benefício da economia e da sociedade.

O novo Marco Legal alterou um conjunto de nove Leis para criar um ambiente mais favorável à pesquisa, ao desenvolvimento e a inovação nas universidades, nos institutos públicos e privados e nas empresas, a saber: Lei de Inovação; Lei das Fundações de Apoio à CT&I; Lei de Licitações; Regime Diferenciado de Contratações Públicas; Lei do Magistério Federal; Lei do Estrangeiro; Lei de Importações de Bens para Pesquisa; Lei de Isenções de Importações; e, Lei das Contratações Temporárias.

O múltiplo e crescente potencial e propriedades dos Materiais Avançados¹⁷ ainda não são inteiramente compreendidos pela ciência e cognição humana. Destacam-se, os metamateriais, que podem apresentar características inexistentes na natureza, e os nanocompósitos, que combinam propriedades de uma ou várias classes de materiais, inclusive, de natureza biológica originária em sistemas vivos. O governo federal brasileiro, por meio do MCTI, reconhece que a nova geração de Materiais Avançados e as tecnologias da informação e comunicação (TICs) são pilares fundamentais para o futuro da indústria de manufatura e da aceleração de uma transição rumo à economia digital e sustentabilidade, exigidas no século 21. Portanto, o desenvolvimento e uso dos Materiais Avançados no Brasil tornará possível: desenvolver novos produtos de base tecnológica; elevar a qualidade e eficiência de produtos e soluções já disponíveis no mercado agregando valor e funcionalidades e reduzindo custos; gerar vantagens competitivas ao setor produtivo nacional; aumentar a rentabilidade e competitividade da nossa indústria; elevar a segurança, confiabilidade, durabilidade e sustentabilidade ambiental.

Os Materiais Avançados abrangem uma temática multidisciplinar e transversal que cresce a cada dia nas fronteiras da Física, Química, Engenharia, Biologia e Biociências e Matemática Aplicada. Suas interfaces se apoiam enormemente nas nanociências e alcançam várias áreas e setores econômicos e tecnológicos, como a eletrônica e a fotônica, com enormes mercados multissetoriais (energia, saúde, transporte, embalagem, defesa, segurança pública, telecomunicações, agronegócio, meio ambiente). Não há dúvida que os Materiais Avançados são um pilar estratégico para o desenvolvimento, prosperidade e autonomia de qualquer país.

Este Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação em Materiais Avançados (PCTIMA) obedece à determinação das alíneas §1º e 2º do Art. 8º do Decreto nº 10.746/2021, que institui a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados

¹⁷ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019. *Frontiers of Materials Research: A Decadal Survey*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/25244>. Acesso: 20.08.2021.

e o Comitê Gestor de Materiais Avançados. Sua elaboração empregou subsídios e ações orientadoras que incluem, de forma não exaustiva, os seguintes documentos: Política Nacional de Inovação (PNI-2020); Estratégia Nacional de Inovação (ENI-2021); ENCTI 2016-2022 e os desafios nacionais para a CT&I; Planos internacionais em Materiais Avançados da União Europeia, Estados Unidos da América, BRICS, Alemanha, Reino Unido, Reino dos Países Baixos, República Popular da China, Japão, Portugal, República da Coreia (Coreia do Sul) e Singapura. Inclui ainda diretrizes, insights e sugestões do Fórum Econômico Mundial na área de Materiais Avançados; do Estudo “Materiais Avançados no Brasil 2010-2022”, elaborado pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE); e de consultas especializadas, realizadas no segundo semestre de 2021, a atores selecionados do ecossistema de Materiais Avançados (governo, academia, indústria e empresas, sociedade).

São objetivos deste PCTIMA: Contribuir para a superação dos desafios nacionais em CT&I e realização dos objetivos definidos na Política e Estratégia Nacional de Inovação (PENI); Favorecer o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS-Agenda 2030); Potencializar benefícios, vantagens e oportunidades competitivas do País; e, Alavancar, com soberania, o desenvolvimento, a prosperidade e o bem estar econômico, social e ambiental, pela construção de uma sociedade do conhecimento, pacífica e sustentável.

Aprovado em 2019 no âmbito da ENCTI 2016-2022, o Volume II do Plano de Ação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras classifica “Materiais Avançados” como *“materiais e seu processo tecnológico associado, com potencial de exploração em produtos e aplicações de alto valor agregado”*. De forma complementar, o Inciso I do Art. 3 do Decreto nº 10.746/2021, assim define Material Avançado: *“ - material que, devido às suas propriedades intrínsecas ou ao seu processo tecnológico de preparação, possui a potencialidade de gerar novos produtos e processos inovadores de elevado valor tecnológico e econômico, de elevar o desempenho, de agregar valor ou de introduzir novas funcionalidades aos produtos e processos tradicionais”*.

A figura 1 exibe uma representação esquemática geral da estrutura da Política Nacional de Inovação (Decreto nº 10.534/2020), desdobrada na Estratégia Nacional de Inovação (Resolução Câmara de Inovação CI nº 1, de 23 de julho de 2021) e seus respectivos planos setoriais ou temáticos.

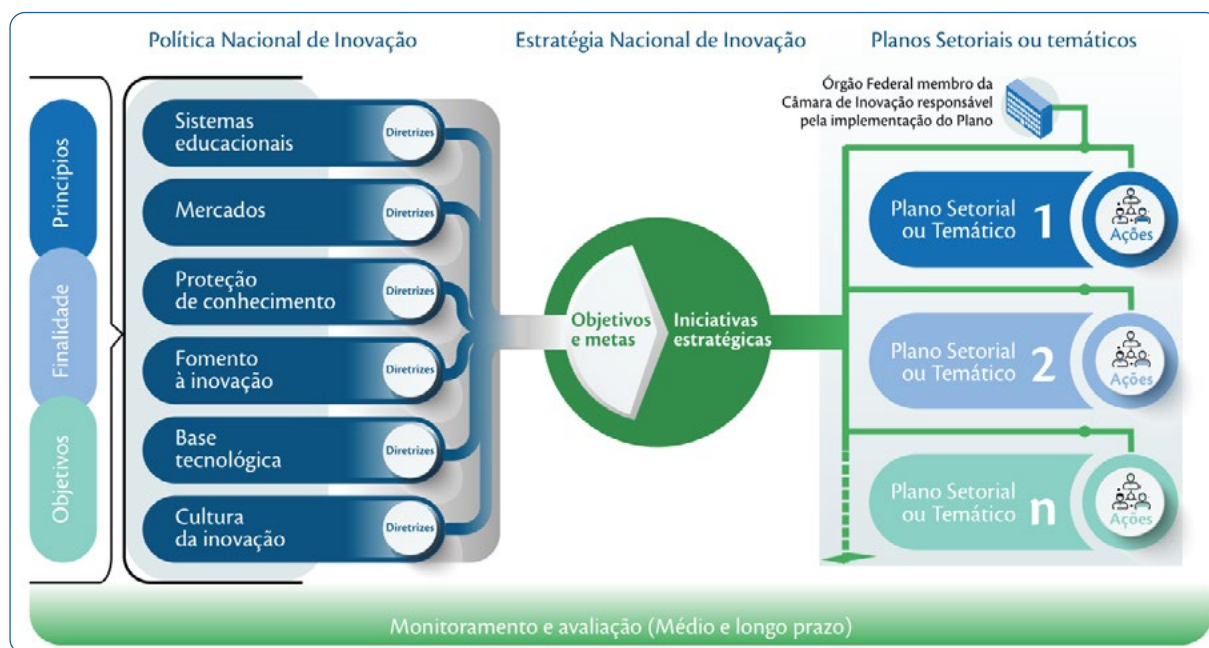


Figura 1: Estrutura da Política Nacional de Inovação (PNI)

Fonte: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O MCTI possui um planejamento estratégico (2020-2030) que visa o estabelecimento integrado das tecnologias convergentes e habilitadoras, incluindo os Materiais Avançados, considerando o impulso tecnológico (*technology-push*) e a pressão da demanda (*demand-pull*). No impulso tecnológico estão os Sistemas e Programas Nacionais, os Laboratórios Públicos e Privados, as Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) e as Instituições de Ensino Superior (IES), alinhadas de forma complementar com as interseções de planejamento, pesquisa, desenvolvimento e emprego de Nanotecnologias, Fotônica e demais Tecnologias Convergentes e Habilitadoras.

Na pressão da demanda, sobressaem as conexões com as frentes de ação, atores e estímulo para efetivar pontes entre a Ciência e a Tecnologia e os mercados nacional e internacional, impulsionando a inovação de base tecnológica. Esse dinâmico ecossistema insere-se e apoia-se no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI), em particular, os Ministérios, as agências de fomento, as empresas, as instituições de pesquisa, o terceiro setor e os governos estaduais e municipais. O esforço principal desses grupos e atores de interesse deve focar a integração academia-indústria, o desenvolvimento e aplicação de soluções tecnológicas para a superação dos desafios sociais e econômicos, e a realização da prosperidade e desenvolvimento do País.

A Figura 2 traz uma representação esquemática da interação entre os elementos do SNCTI e o planejamento estratégico do MCTI, considerando o impulso tecnológico, as frentes de ação, os elementos de atração e a pressão da demanda.



Figura 2: Planejamento estratégico do MCTI, articulado pela SEMPI, DETAP e CGTH, considerando o impulso tecnológico, as frentes de ação, os elementos de atração e a pressão da demanda.

1.1 VISÃO DA POLÍTICA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM MATERIAIS AVANÇADOS

Implementar uma **Política de Estado** para posicionar o **Brasil como referência global em ciência e tecnologia**, no desenvolvimento tecnológico, empreendedorismo, comercialização e fabricação de produtos inovadores de alto valor agregado baseados em Materiais Avançados.

1.2 FINALIDADE DA POLÍTICA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM MATERIAIS AVANÇADOS

O caput do Art. 2º do Decreto nº 10.746/2021, estabelece que a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados tem por finalidade: “*orientar o planejamento, as ações e as atividades de pesquisa, desenvolvimento tecnológico, inovação e empreendedorismo na cadeia de valor dos materiais avançados no País, com vistas à agregação de valor em produtos, serviços e processos para a promoção do desenvolvimento social e econômico*”. Esta nova política do Estado Brasileiro é essencial para tornar o País uma referência global em Ciência e desenvolvimento tecnológico, inovação, empreendedorismo e a produção de soluções, produtos e serviços de alto valor agregado, empregando os Materiais Avançados.

1.3 PRINCÍPIOS DA POLÍTICA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM MATERIAIS AVANÇADOS

O Art. 4º do Decreto nº 10.746/2021, estabelece os seguintes princípios da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação em Materiais Avançados: i) Domínio tecnológico da cadeia de valor associada aos Materiais Avançados; ii) Desenvolvimento econômico e social; iii) Desenvolvimento sustentável; e, iv) Cooperação entre o Poder Público, setor privado e instituições de ensino ou pesquisa.

1.4 OBJETIVOS GERAIS DA POLÍTICA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM MATERIAIS AVANÇADOS

O Art. 6º do Decreto nº 10.746/2021, estabelece os seguintes objetivos da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados: i) Fomentar a pesquisa, o desenvolvimento e a inovação tecnológica em Materiais Avançados; ii) Estimular o empreendedorismo de base tecnológica em Materiais Avançados; iii) Promover o domínio das tecnologias envolvidas na cadeia de valor associada aos minerais e à biomassa para a produção de Materiais Avançados; iv) Incentivar a capacitação, a formação e a fixação de recursos humanos especializados; v) Promover a criação, a ampliação e a modernização de infraestruturas necessárias à cadeia de valor de Materiais Avançados; vi) Fortalecer a cooperação internacional na qualidade de agente acelerador do desenvolvimento setorial; e, vii) Promover a sua integração e a sua transversalidade com as políticas públicas setoriais.

1.5 OBJETIVO DESTE PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM MATERIAIS AVANÇADOS

Considerando os Princípios, as Diretrizes, a Finalidade, os Objetivos, as Iniciativas e Determinações da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados, associada à legislação e instrumentos normativos descritos, a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (ENDES - 2019-2031), o Plano Plurianual (PPA - 2020-2023), os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS, Agenda ONU-2030), e o planejamento estratégico do MCTI para o período 2020-2030¹⁸, este PCTIMA, com vigência de quatro anos e cenários para os próximos vinte anos, tem por objetivo:

¹⁸ Estabelece, conforme a missão e diretrizes do MCTI, uma orientação superior de gestão tempestiva das prioridades, implementação e impactos da política nacional em CT&I nos níveis estratégico, tático e operacional. Destaca-se a transversalidade das Tecnologias Habilitadoras e Convergentes, dependente dos Materiais Avançados, para a pesquisa e o desenvolvimento de aplicações dirigidas aos mercados. <https://estrategia2020-2030.mcti.gov.br/>

- Apoiar e propor estratégias e instrumentos executivos complementares para o aprimoramento da governança das ações da Política Nacional de Inovação em Materiais Avançados “vis a vis” a Estratégia Nacional de Inovação¹⁹. Sua implementação irá contribuir para a criação e manutenção de um ambiente de colaboração permanente entre o governo, as empresas e indústrias, a academia e a sociedade (hélice quádrupla), aliando competências em ciência, tecnologia, empreendedorismo e inovação, centradas na ética e promoção de resultados para o desenvolvimento sustentável do ecossistema de Materiais Avançados no Brasil.
- Desenvolver competências em ciência, tecnologia, empreendedorismo e inovação, centradas na ética e na promoção continuada do completo desenvolvimento sustentável do ecossistema de Nanotecnologia, Materiais Avançados, criando e nutrindo um ambiente de colaboração entre a indústria e a academia.

1.6 TEMAS ESTRATÉGICOS

Após duas décadas de importantes esforços e resultados para acelerar a CT&I, o Brasil está diante do imperativo de aprimorar os ecossistemas de inovação, por meio do desenvolvimento e especialização tecnológica em setores de interesse nacional e abrangência global, para agregar valor aos vastos recursos naturais e gerar desenvolvimento socioeconômico e prosperidade à nação. Realizar o desafio depende da consolidação dos Materiais Avançados como uma área nucleadora das Tecnologias e Habilitadoras, para ampliar significativamente os impactos da inovação tecnológica e a valorização econômica do conhecimento.

Os temas estratégicos selecionados neste Plano de Ação baseiam-se em subsídios, análises, conclusões e determinações das normas, legislação e estudos citados nas seções anteriores, e sua definição e priorização se beneficiou de interlocução em oficinas de trabalho com especialistas e consulta pública à sociedade, realizadas no período de outubro, novembro e dezembro de 2021. Incluem-se no diálogo, além de representantes da indústria, as Unidades de Pesquisa do MCTI, os comitês de assessoramento, a exemplo do Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Materiais Avançados (CCNANOMAT – Decreto nº 10.095/2019) e Comitê Gestor de Materiais Avançados (Decreto nº 10.746/2021).

Seguem os grandes temas estratégicos para as ações do Estado Brasileiro no apoio ao desenvolvimento da área de Materiais Avançados²⁰: i) Desenvolvimento

¹⁹ <https://inovacao.mcti.gov.br/>

²⁰ Revisada e expandida por consulta a especialistas da academia, do governo e das empresas, em três oficinas coordenadas pela CGTH/SEMPI/MCTI.

da Cadeia produtiva de matéria prima (insumos) de maior valor agregado; ii) Métodos avançados de caracterização e síntese de Materiais Avançados (materiais sustentáveis); iii) Saúde, Saneamento e Meio Ambiente em especial os biomateriais; iv) Defesa Nacional e Segurança Pública; v) Energia, Eficiência e Transição Energética para as Energias Limpas e Mobilidade (automotiva, aeroviária, ferroviária)²¹; vi) Tecnologia Assistiva; vii) Agricultura, Pecuária e Segurança Alimentar; viii) Bioeconomia e Economia Circular (biomassa, mineração urbana, análise de ciclo de vida, química verde, substituição de materiais por novos materiais renováveis e biodegradáveis); ix) Tecnologias Digitais para a Descoberta e Caracterização Inteligentes de Materiais Avançados Aplicados às TICs e Computação Quântica (*Material Informatics*)²²; x) Micro e nanofabricação; xi) Aspectos regulatórios de segurança (*safety by design*); xii) Escalonamento de nanomateriais e Materiais Avançados; e, xiii) Mapeamento Geológico Marinho (*Blue Mining*)²³. Segue uma descrição sucinta e agregada, destes temas:

Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Matérias Primas (insumos) de Maior Valor Agregado: As cadeias produtivas globais de valor (CGVs) são um tema central na agenda do comércio internacional e as atividades de empresas (em especial, em processos de manufatura) se espalha por várias indústrias em diferentes regiões do mundo. O Brasil possui vastas quantidades e jazidas de matérias primas essenciais para as aplicações de Materiais Avançados. Todavia, estas ainda não são adequadamente aproveitadas economicamente em seu potencial, principalmente pela baixa sofisticação tecnológica em sua extração e processamento para gerar maior valor. A Política de Materiais Avançados deseja mudar essa realidade e as ações e instrumentos apresentados neste PCTIMA, irão acelerar a transformação.

Métodos Avançados de Caracterização e Síntese de Materiais Avançados (materiais sustentáveis): o rápido avanço da computação de alto desempenho associada aos avanços excepcionais em aprendizagem de máquinas e inteligência artificial, possibilitam a transição do design molecular tradicional para a era da Descoberta Acelerada de materiais novos e avançados, indispensáveis para a fabricação e uso seguro de produtos e soluções sustentáveis que ajudarão a sociedade a superar desafios globais como a mudanças climáticas, a segurança alimentar, energética e hídrica e redução de resíduos. Essa nova era de descobertas aceleradas está plenamente demonstrada no desenvolvimento em tempo recorde das vacinas contra a Covid-19. Por sua grande disponibilidade

²¹ Fórum Econômico Mundial (<https://www.weforum.org/agenda/archive/advanced-materials>). Fórum econômico Mundial (Brasil) - <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000LPqYEAW?tab=publications>

²² Agência de Projetos Avançados de Pesquisa em Defesa dos EUA DARPA (<https://www.darpa.mil/>)

²³ Blue Mining EU (<http://www.bluemining.eu/>). Acesso 27/08/2021.

de recursos naturais, o Brasil apresenta vasto potencial ainda inexplorado para se beneficiar com o desenvolvimento tecnológico na área de Materiais Avançados. Os objetivos da Política nacional na área, associados às ações e instrumentos apresentados neste PCTIMA, irão contribuir para o desenvolvimento endógeno do tema.

Saúde, Saneamento e Meio Ambiente, Ênfase em Biomateriais: Os Materiais Avançados estão presentes em várias aplicações na área de Saúde²⁴, incluindo implantes ortopédicos, próteses endovasculares, materiais dentários, nanoestruturas para diagnóstico, acompanhamento e tratamento de doenças, materiais carreadores em sistemas de liberação controlada de fármacos ou suplementos, e nano/bio materiais para a revolucionária engenharia tecidual. A saúde e um meio ambiente saudável são interdependentes. Assim, contaminações por produtos químicos perigosos e microrganismos e derramamento de hidrocarbonetos podem ser combatidos com estas tecnologias, representando uma grande oportunidade de investimentos público e privado para a dinamização da economia e geração de renda. O Brasil apresenta vasto potencial em exercer uma liderança tecnológica na saúde e na fronteira ambiental, ao tempo em que contribui em escala mundial para a prevenção, mitigação e remediação de vários desafios da sustentabilidade ambiental do planeta.

Defesa e Segurança Pública: Toda nação soberana deve se posicionar estrategicamente nestes temas. Os Materiais Avançados são amplamente usados em nichos tecnológicos como soldagem entre metais e cerâmicas, blindagem balística e eletromagnética, materiais metálicos e compósitos especiais, sensores avançados, simulação computacional, e aplicações inovadoras necessárias para a superação de barreiras econômicas e da restrição, cerceamento, tecnológico. Essas tecnologias são amplamente empregadas no setor aeroespacial - em estruturas, propulsão, proteção térmica, telemetria e sensoriamento, controle da condição operacional dos sistemas de voo, captação de energia solar e outras aplicações crítica. Várias, alinhadas ao Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), são duais, de uso civil e de defesa.

Energia, Eficiência e Transição Energética para as Energias Limpas e Mobilidade (automotiva, aeroviária, ferroviária, aquaviária): Os Materiais Avançados são essenciais para atender ao aumento doméstico e global da demanda, segurança e da eficiência energética (desenvolvimento econômico x oferta x sustentabilidade), rápido aumento na adoção de veículos terrestres e aéreos de propulsão elétrica, e corrida por fontes eficientes e renováveis com reduzida emissão e neu-

²⁴ Sobre a política pública em Saúde, consultar o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para a Saúde do MCTI - https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/Arquivos/PlanosDeAcao/PACTI_Saude_Web.pdf. Acesso 18/08/2021.

tralidade de gases de efeito estufa. Deles dependem o desenvolvimento, a geração e a produção sustentável de energia em biocombustíveis, solar, fotovoltaica, nuclear, eólica, hidrogênio, geotérmica, célula combustível.

Agricultura, Pecuária e Segurança Alimentar: Em 2020, o agronegócio respondeu por 26,6% do PIB nominal brasileiro²⁵, e os Materiais Avançados encontram no setor um nicho de inserção estratégica, com alto potencial de agregação de valor, aumento de qualidade, sustentabilidade, e redução de custo da produção agrícola. Em anos recentes os Materiais Avançados, a nanotecnologia e as tecnologias digitais impulsionam a migração da agricultura tradicional para uma agricultura de alta precisão (agricultura 4.0). Sensores avançados permitem o monitoramento das condições do solo e do clima, a liberação controlada e direcionada (*drug delivery*), a detecção de agroquímicos, de sistemas catalíticos de pesticidas e de entrega de fertilizantes. Essas tecnologias, viabilizadas pelos Materiais Avançados, permitem regular o crescimento das plantas, dispensar nutrientes e água na dosagem ideal, diminuir a aplicação e a dispersão caótica de agroquímicos melhorando a qualidade, produtividade, segurança e durabilidade dos alimentos.

Pesquisa e Inovação em Tecnologia Assistiva: Segundo o Censo oficial mais recente (IBGE-2010, com as modificações introduzidas pela Nota Técnica 01/2018 do IBGE, tendo como base recomendações do Grupo de Washington (*Washington Group on Disability Statistics* – WG) para Estatísticas sobre Pessoas com Deficiência (PcD), o Brasil apresenta mais de 12,7 milhões (6,7% do total da população) de cidadãos com algum tipo de deficiência (física, visual, auditiva ou mental). Além das PcD temos cerca de 32,9 milhões de pessoas com alguma limitação funcional. Esses números expressam claramente a importância e urgência de ações governamentais estruturadas na área. Em julho de 2015, foi publicado o Estatuto da Pessoa com Deficiência (Lei nº 13.146/2015), regulamentado, em março de 2021 pelo Decreto nº 10.645/2021. Em setembro de 2020, o governo federal lançou por meio do MCTI, da FINEP e dos Ministérios da Educação, Ministério da Mulher, Família e Direitos humanos, uma Chamada Pública que concedeu recursos não-reembolsáveis de Subvenção Econômica (R\$33 milhões em 19 projetos aprovados) e de cooperação ICT-Empresa (R\$24 milhões em 15 projetos aprovados), para apoio à pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação, em projetos com risco tecnológico em Tecnologia Assistiva. O resultado da seleção, publicado em janeiro de 2021, habilitou 68 propostas e selecionou 34 projetos, mobilizando um total de R\$ 57 milhões. Muitos projetos apoiados envolvem Materiais Avançados, que podem ser empregados para me-

²⁵ PIB do agronegócio brasileiro - <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso 15/08/2021.

lhorar a resistência, a flexibilidade e leveza de dispositivos de tecnologia assistiva. O apoio à área de Materiais Avançados tem trazido, e tende a aumentar, grande impulso na aceleração do desenvolvimento e do emprego da tecnologia assistiva em todo o país

Em 17 de setembro de 2021, no contexto da regulamentação da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência, Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015), destinada a assegurar e promover, em condições de igualdade, o exercício dos direitos e das liberdades fundamentais por pessoa com deficiência, visando à sua inclusão social e cidadania, o MCTI lançou duas consultas públicas sobre Tecnologias Assistivas. Uma, para atualizar a lista de bens e serviços para a elegibilidade ao financiamento público na compra de equipamentos às pessoas com deficiência, e a outra, sobre o Plano Nacional de Tecnologia Assistiva (PNTA). O apoio à área de Materiais Avançados tem trazido, de forma crescente, grande impulso na aceleração do desenvolvimento e emprego da tecnologia assistiva em todo o País.

Tecnologias Digitais Aplicadas aos Materiais Avançados: O tema associa-se ao modelamento, descoberta e predição do comportamento de novos materiais com base em sua composição, micro e nanoestrutura, histórico de processamento e interações atômicas. Pode-se produzir novos materiais com variada precisão, para aplicações isoladas ou em forma de polímeros em eletrônica avançada, física e engenharia do estado sólido, nanotecnologia, materiais para óptica e indústria avançada, energia, termodinâmica de materiais, e outras.

Bioeconomia e Economia Circular (biomassa, mineração urbana, análise de ciclo de vida, química verde, substituição de materiais por novos materiais renováveis e biodegradáveis): Este vasto e emergente cluster de áreas, tecnologias e setores econômicos conquistou um papel central nas políticas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação nas economias desenvolvidas e intensivas em conhecimento. O futuro do desenvolvimento do Brasil está intrinsecamente dependente do aproveitamento inteligente da Bioeconomia. Segundo o MCTI e a Associação Brasileira de Bioinovação (ABBI), apenas a biotecnologia industrial pode agregar, em 20 anos, aproximadamente US\$ 53 bilhões anuais à economia brasileira e 217 mil novos postos de trabalhos qualificados, dependentes de investimento das empresas no período estimado em US\$ 132 bilhões. A associação dos Materiais Avançados à bioeconomia, química verde, mineração urbana, substituição de materiais, irá gerar um novo paradigma e acelerar a geração de riqueza ao País.

Micro e Nanofabricação: Os sistemas de manufatura avançada estão em plena transformação com readaptação e invenção para atender à crescente demanda do mercado e reguladores. A cada dia os processos e técnicas de micro e

nanofabricação tornam-se mais complexos para atender as demandas por aplicações. Em particular, em dispositivos optoeletrônicos e fotônicos; sistemas micro eletromecânicos (MEMS); litografia (óptica, laser e feixe de elétrons); semicondutores; limpeza de substratos; crescimento de materiais; deposição de dielétricos e metais; corrosão seca e úmida; dopagem de materiais. Aproveitando a competência e infraestrutura científica disponível, a Política de desenvolvimento em Materiais Avançados, empregando as estratégias e instrumentos deste PCTIMA, irá impulsionar este pivotal segmento.

Aspectos Regulatórios de Segurança (*safety by design*)²⁶: as propriedades físico-químicas, biológicas, óticas, térmicas, magnéticas ou redox exclusivas dos Materiais Avançados e sua interrelação crescente com as nanotecnologias, já demonstrou sua viabilidade em áreas como a saúde (diagnóstico, administração de medicamentos, regeneração e reparo de tecidos), alimentação, medicamentos, saneamento, meio ambiente. Seu desenvolvimento e regulação, em função de seus perfis de perigo/segurança oferece novas oportunidades e desafios para o planeta, sistemas vivos e sociedades humanas. Portanto, espera-se que uma integração de síntese e avaliação de segurança promova nanomateriais mais seguros a cada projeto e aplicação. A Política de Materiais Avançados irá contribuir para uma harmonização dos aspectos regulatórios nessa fronteira das interfaces entre a ciência e a sociedade.

Escalonamento de Nanomateriais e Materiais Avançados: Os avanços recentes na engenharia de processos, fabricação e comercialização podem ajudar a controlar custos e reduzir riscos na fabricação e escalonamento ao longo da transição dos estágios tecnológicos desde o projeto ao lançamento do produto final certificado. Conforme as diretrizes da Política de Materiais Avançados, este Plano de CT&I irá subsidiar e orientar ações de planejamento público capazes de direcionar o mercado e possibilitar às empresas opções diferenciadas para o desenvolvimento conjunto com ICTs de projetos de interesse nacional.

Mapeamento Geológico Marinho (*Blue Mining*): Em 2017, a ONU estabeleceu o período 2021 a 2030 como a “Década dos Oceanos”, elevando a importância nas agendas globais dos temas relativos aos oceanos. Quanto à biodiversidade em áreas além das jurisdições nacionais, o documento final da conferência da ONU Rio+20 (“O Futuro que Queremos”), sugeriu um mecanismo internacional

²⁶ Detalhes: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies/advanced-materials_en#responsible-development-of-nanotechnologies; https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Nanotechnologie/nanodialog_5_fd4_zusammenfassung_diskussion_en_bf.pdf

vinculante, no âmbito da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, para suprir lacunas no arcabouço legal ²⁷. O mapeamento e identificação de materiais de interesse econômico no leito de mares e oceanos tornou-se estratégico para o futuro da economia global. Esta nova fronteira abriu grandes perspectivas para uma futura mineração oceânica sustentável, que demanda a descoberta e desenvolvimento de Materiais Avançados resistentes à pressão, temperatura e corrosão extremas. Aproximadamente 70% da superfície terrestre é coberta por mares e oceanos, e o Brasil possui 7,4 mil quilômetros de extensão costeira contínua que atinge 10.959 km quando consideradas as saliências e reentrâncias do litoral (IBGE)²⁸. Adicionalmente, a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira possui área oceânica de 3,6 milhões de km², que somados a cerca de 900mil km² da Plataforma Continental (PC) além das 200 milhas náuticas, reivindicados na Organização das Nações Unidas (ONU), totalizam 4,5 milhões de km² de área oceânica adjacente ao continente (Amazônia Azul), equivalente a 52% de toda área continental do País²⁹.

Para agregar valor tecnológico, econômico, social e ambiental às matérias primas nacionais associadas aos Materiais Avançados (Grafeno, Nióbio, Lítio e Minerais de Terras Raras para supercondutores, ímãs, magnetos e catalisadores, etc.,) é necessário propor, desenvolver, produzir e absorver soluções tecnológicas para os temas estratégicos deste Plano de Ação. Neste sentido, a Figura 3 exibe uma representação esquemática do SNCTI e sua interrelação com o ecossistema de inovação, suas principais instituições, atores, e interfaces de atuação.

²⁷ Seção 6 - Aspectos Relevantes - DECRETO Nº 10.544, DE 16 DE NOVEMBRO DE 2020 - Aprova o X Plano Setorial para os Recursos do Mar - <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.544-de-16-de-novembro-de-2020-288552390>

²⁸ Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil | 2011 - <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283741> -

²⁹ Marinha do Brasil: Amazônia azul - https://www.marinha.mil.br/cgcfm/amazonia_azul



Figura 3. Representação do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) e do Ecosistema de inovação Brasileiro, responsáveis por propor, desenvolver, produzir e absorver soluções tecnológicas para os temas estratégicos do Plano de Ação³⁰.

Como destaca a Estratégia Nacional de Inovação, o aprimoramento dos ecossistemas de inovação no Brasil é fundamental para o desenvolvimento tecnológico e da inovação nos diversos setores da sociedade. As parcerias de empresas, institutos de pesquisa, laboratórios, universidades, associações empresariais, think-tanks, arranjos regionais e agências governamentais, são essenciais para a promover a cultura do empreendedorismo e da inovação. Sua importância é pivotal para o desenvolvimento sustentável e a agregação de valor aos recursos naturais do País, resultando no fortalecimento da economia local, regional, nacional e na prosperidade social.

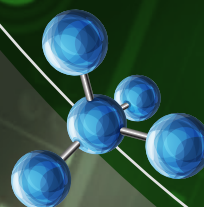
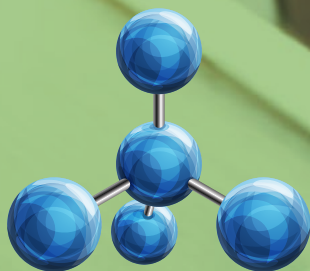
30 Map: These are the Key Players — and Tensions — Involved in Corporate Innovation (<https://www.innovationleader.com/corporate-innovation-ecosystem/>). Acesso 03/09/2021.

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

gov.br/mcti



ESTRATÉGIA ORÇAMENTÁRIA / FINANCIAMENTO

2

2. ESTRATÉGIA ORÇAMENTÁRIA / FINANCIAMENTO

A necessidade de fortalecer e impulsionar os resultados da relação academia-indústria, tornou necessário modernizar os instrumentos de financiamento da pesquisa, da inovação e da criação e acesso aos mercados. Além de eficientes mecanismos de investimento de recursos, as iniciativas e projetos na área de Materiais Avançados devem, preferencialmente, utilizar as abordagens de “impulso tecnológico e pressão da demanda” (*technology-push/demand-pull*), conforme priorização de atividades e competências regionais (*smart specialisation*³¹) nas tecnologias estratégicas e críticas associadas aos Materiais Avançados. A estratégia de fomento da SEMPI/MCTI reforça a diretriz que a geração de conhecimento (na academia) deve ser preferencialmente direcionada **pela demanda do setor empresarial nacional**, visando à ampliação da base do conhecimento científico, tecnológico e de mercado, para a geração e ampliação de valor econômico e superação dos desafios sociais e ambientais do Brasil.

Na esfera pública, podem-se citar fontes e mecanismos tais como: (i) os Fundos Constitucionais como, por exemplo, o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), criado em 1969, o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE), criado em 1968, e o Fundo de Defesa de Direitos Difusos (FDD), criado em 1985; (ii) Fontes orçamentárias ordinárias dos ministérios do Governo Federal com interface em C,T&I e suas unidades vinculadas (CNPq, FINEP, CAPES, APEX e outras); (iii) Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (FAPs); Leis de Incentivo à C,T&I, por exemplo, a Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005 (Lei do Bem), a Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991 (Lei da Informática) e a Lei nº 13.755, de 10 de dezembro de 2018 (Programa Rota 2030 - Mobilidade e Logística); (iv) Investimentos em atividades de pesquisa tecnológica e desenvolvimento de inovação tecnológica, provenientes de setores regulados (P&D Regulados); e (v) Outras fontes de recursos, como o Novo Banco de Desenvolvimento dos BRICS, Fundo Verde Global e Fundos Internacionais.

³¹ Smart Specialization (<http://s3platform.jrc.ec.europa.eu/map>).

O maior potencial de inovação no financiamento dos Materiais Avançados está na esfera privada pela especialização e ampliação do diálogo, alianças e parcerias com as partes interessadas em projetos específicos, para incentivar, mobilizar e incluir novas fontes externas e flexíveis e instrumentos de atração de financiamento e fomento elegíveis na forma da legislação e respectivos regulamentos. Dentre as principais estratégias, incluem-se: Fundos de Investimento e Participações (FIPs) e *Debentures* Incentivadas para C,T&I (Portaria nº 4.382, de 14 de janeiro de 2021), Fundos Patrimoniais ou *Endowments* (Lei nº 13.800, de 4 de janeiro de 2019), Capital Anjo, Fundos de *Private Equity* Tecnológico para projetos de Pesquisa e Startups, Fundos ESG (Sustentabilidade, Social, Governança), instrumentos de inovação aberta (desafios tecnológicos e investimentos em startups), e demais arranjos de mercado previstos na legislação, de interesse da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

A Figura 4, exibe uma representação esquemática de um modelo de fomento incentivado para o alcance dos objetivos estratégicos propostos neste PCTIMA.

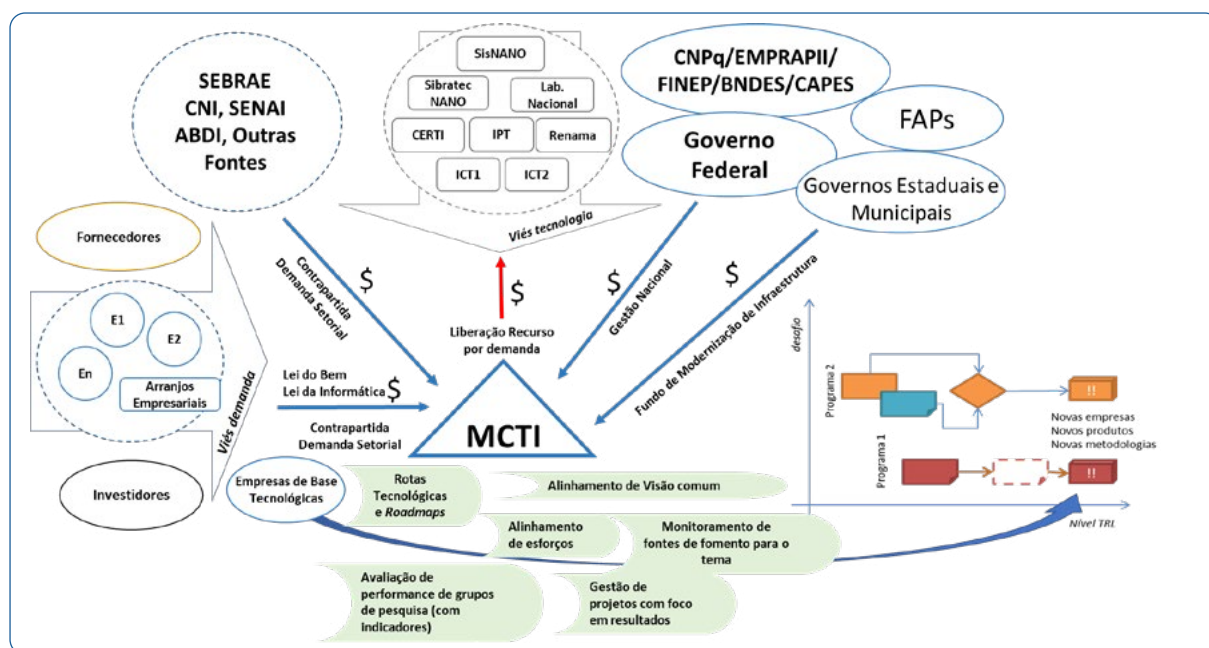


Figura 4. Proposta de estratégia de mobilização e alocação de recursos para o desenvolvimento sustentável da área de Materiais Avançados.

2.1 EIXOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Têm por função básica nortear a execução das ações estratégicas para o alcance dos objetivos e metas estabelecidas neste Plano de CT&I em Materiais Avançados. Cada eixo representa um fluxo integrado de processos e ações para o pleno

desenvolvimento da área no Brasil sob o escopo conceitual, normativo e gerencial das Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, incluindo a Nanotecnologia, a Fotônica e a Manufatura Digital Avançada (Indústria 4.0). São eles:

- i. **Eixo Ambiental e Estruturante:** ações para a construção de um ambiente inovador viável, enfatizando os esforços e instrumentos para consolidação e fortalecimento dos ecossistemas dos Materiais Avançados;
- ii. **Eixo Econômico e Mobilizador:** ações que facilitam o acesso à infraestrutura, pesquisadores e expertise científica, tecnológica e comercial dos laboratórios do SisNANO e do Sisfóton, além de Centros de Tecnologias Aplicadas em implementação, aproximando o setor produtivo do desenvolvimento e aplicação de soluções inovadoras. Aqui, organizam-se os instrumentos e competências que auxiliam a construção de pontes entre a academia e a indústria para produzir geração de retorno econômico, inovação, riqueza e prosperidade ao País;
- iii. **Eixo Social e Capacitador:** ações que empoderam a sociedade por meio do desenvolvimento social e comunitário. Este espaço, contempla as ações educacionais e de formação de capital humano, valorização do desempenho e promoção da integração academia-indústria que desmistifica e assegura à população conhecimento sobre os benefícios dos Materiais Avançados;
- iv. **Eixo Político e Transformador:** ações para garantir a implementação do desenvolvimento sustentável. Este eixo disponibiliza, efetiva e assegura o conhecimento e práticas transformadoras contempladas nos demais eixos.

A Figura 5 traz uma representação esquemática das principais políticas públicas e programas implantados ou prospectados para a área de Materiais Avançados, distribuídos pelos eixos de desenvolvimento sustentável.



Figura 5: Principais políticas públicas e programas ministeriais para Materiais Avançados por Eixos de Desenvolvimento Sustentável. Em retângulos azuis, as ações implementadas, em retângulos roxos, as ações planejadas

2.2 GOVERNANÇA

O Decreto nº 10.534/2020 que Institui a Política Nacional de Inovação e dispõe sobre sua governança³², estabelece em seu capítulo II, Art. 12, que o MCTI exercerá o papel de secretaria executiva da câmara de inovação “*órgão deliberativo, destinado a estruturar e orientar a operacionalização dos instrumentos e processos necessários para a implementação da Política Nacional de Inovação*”, nos termos do Art. 9. Ao MCTI, conforme redação da alínea § 4º, inciso I, do Art. 12, compete: “*I - gerir e integrar os dados, as informações e os estudos disponíveis sobre inovação, em conformidade com a Política Nacional de Inovação e seus instrumentos, e identificar lacunas*”.

O Decreto nº 10.746/2021³³, que Institui a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados e o Comitê Gestor de Materiais Avançados, estabelece em seu Art. 8º que: “*O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações elaborará o Plano*

³² https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10534.htm

³³ https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Decreto/D10746.htm

de *Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados*”. Adicionalmente, o Art. 12 institui o Comitê Gestor de Materiais Avançados, cuja secretaria executiva é exercida pelo MCTI. Compete ao Comitê Gestor:

- I. Propor revisões à Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados;
- II. Propor atualizações ao Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados;
- III. Propor programas, metas e prioridades de governo referentes aos materiais avançados;
- IV. Avaliar a execução da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados; e,
- V. Opinar sobre propostas ou programas que possam causar impactos à Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados e sobre atos normativos de qualquer natureza que a regulamentem.

Adicionalmente, a Resolução da Câmara de Inovação, CI nº 1, de 23 de julho de 2021³⁴, que aprovou a Estratégia Nacional de Inovação e seus Planos de Ação para os Eixos de Fomento, Base Tecnológica, Cultura de Inovação, Mercado para Produtos e Serviços Inovadores e Sistemas Educacionais, *DELEGA ao MCTI* competências relevantes para a implementação da estratégia, incluindo a esfera dos Materiais Avançados.

Cabe registrar que, desde 2006, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações conta com o apoio de comitê especializado na área de nanotecnologia, que em 2018, teve suas competências ampliadas para Novos Materiais. Atualmente em vigor, o Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais (CCNANOMAT), instituído pelo Decreto nº 10.095, de 6 de novembro de 2019, é um órgão de assessoramento destinado a formular propostas, relacionadas à temática, bem como macro-objetivos, áreas prioritárias, alocação de recursos e acompanhamento e avaliação de iniciativas, ações, programas e projetos nas áreas de Nanotecnologia e Novos Materiais.

O MCTI exercerá posição destacada na governança deste PCTIMA, assessorado por Comitês Consultivos, Comitê Gestor de Programas prioritários e Comissões Temáticas de especialistas, designados em ato do Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovações na forma da legislação e regulamentos vigentes (Art. 16, Decreto nº 10.746/2021). Especificamente, o Comitê Gestor de Materiais Avançados previsto no Decreto nº 10.746/2021 irá auxiliar este Ministério em sua missão de

³⁴ <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-ci-n-1-de-23-de-julho-de-2021-334125807>

formulação de agenda, ações e programas, tomada de decisão, implementação e avaliação da Políticas Públicas de Estado na área de Materiais Avançados.

Como dispõe o Art. 10. Do Decreto nº 10.746/2021 – “*órgãos e entidades, públicas e privadas, poderão atuar na Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados*”. Dessa forma, à sociedade (comunidade acadêmica, setor produtivo, Comissões de C&T do Congresso, poder legislativo, associações, etc.,) também dispõem de um espaço qualificado para participação e discussão colegiada das ações nessa área.

2.3 O CRESCENTE VALOR ESTRATÉGICO DOS MATERIAIS AVANÇADOS

2.3.1 CONCEITO GERAL

A capacidade das sociedades humanas de extrair, desenvolver, caracterizar, moldar e aplicar Novos Materiais caracterizou uma vertente principal do desenvolvimento da civilização. Nas últimas décadas, em grande parte devido a corrida espacial e a necessidade industrial de materiais com melhor performance física, química, mecânica e biológica, aumentou substancialmente a fundamental relevância dos Materiais Avançados nos processos de desenvolvimento tecnológico e de inovação.

Destacamos que os Materiais Avançados (novos materiais, materiais funcionais, materiais sintéticos e similares) são uma das formas mais diretas de agregação de valor em tecnologias já estabelecidas. Sua utilização ou o melhoramento de processos de obtenção de materiais tradicionais, possibilitam a redução de custos e melhoria de propriedades físicas, químicas e biológicas (resistência térmica, abrasão, envelhecimento, redução da densidade, aumento da condutividade elétrica, biocompatibilidade). Esses materiais revolucionários permitem agregar novas funcionalidades, gerar processos ambientalmente mais sustentáveis, dar nova destinação a resíduos e realizar inúmeras novas aplicações.

As sociedades modernas e economicamente desenvolvidas, são profundamente afetadas pela temática, e dela dependem para a prosperidade e bem-estar, pela necessidade de aumento da vida útil e ciclo de vida de matérias primas (*raw materials*), produtos, com respeito ao meio ambiente, exploração, uso, reaproveitamento e descarte sustentável dos recursos naturais (economia circular e bioeconomia). No passado, o desenvolvimento de novos materiais esteve diretamente

relacionado à sua disponibilidade na natureza, atualmente, o principal ponto de partida associa-se à expectativa de uso final e nova performance requerida. Cabe enfatizar que o desenvolvimento e *design* dos Materiais Avançados se beneficia dos recentes progressos em tecnologias emergentes, convergentes e habilitadoras, modelagem e caracterização, aprendizagem de máquina (*machine learning*), redes neurais e inteligência artificial.

A Figura 6, exibe uma representação das principais classes associadas aos Materiais Avançados, com potencial para gerar conhecimento científico na fronteira do conhecimento, novos produtos de base tecnológica, bem como agregar valor tecnológico a produtos já disponíveis no mercado.



Figura 6: Principais classes de Materiais Avançados, organizadas em ordem aleatória e não extensiva.

Pela enorme versatilidade, os Materiais Avançados exercem papel fundamental nas principais políticas públicas das economias centrais, desenvolvidas. Associado à recém-criada Política Nacional de Inovação, Estratégia Nacional de Inovação e Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados, este Plano propõe iniciativas e ações para o desenvolvimento sustentável da área no Brasil. Considera no ciclo de desenvolvimento tecnológico a partida desde a matéria prima base, com ênfase na bioeconomia, sua transformação, processo produtivo escalonado, descarte e processos de reutilização (economia circular, ciclo de vida do produto/material).

2.3.2 RELEVÂNCIA INDUSTRIAL, ECONÔMICA E AMBIENTAL

O desenvolvimento e a aplicação dos Materiais Avançados vêm revolucionando a forma das empresas fazer negócios e aumentando os desafios aos pesquisadores e gestores da área. Há diversas razões para esta corrida nas empresas pelo desenvolvimento e utilização dos Materiais Avançados: liderança inovadora disponibilizando melhores produtos no mercado, com ótima relação investimento/retorno.

Os Materiais Avançados podem ser categorizados empregando um conjunto de terminologias, definições e rótulos que incluem: **tipos** de materiais tradicionais (i.e. ligas, compósitos, polímeros, cerâmicas), **propriedades** mecânicas, físicas e químicas (i.e. elétrica, magnética, ótica, termodinâmica, estrutural), **setores** de aplicação (i.e. defesa, segurança, aeroespacial, aeronáutica, automotiva, energia), e a **escala de manipulação** dos materiais (i.e., micro e nano materiais). A escala da engenharia envolve as técnicas, processos e ferramentas empregadas para controlar a estrutura e funcionalidade dos macromateriais, micromateriais e “nanomateriais” manipulados na escala atômica, nanométrica.

A Figura 7 apresenta uma ilustração esquemática das várias definições, terminologias e categorias de materiais de interesse da PD&I.

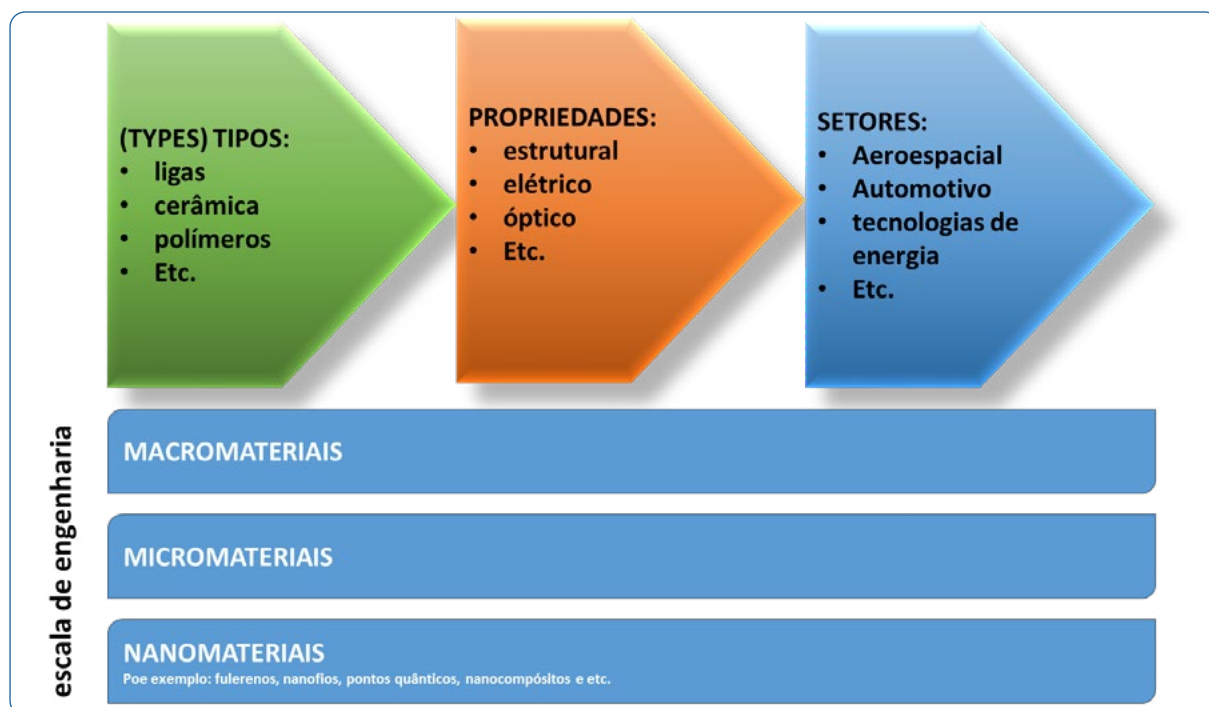


Figura 7: Principais categorias de Materiais Avançados de maior interesse da PD&I

Fonte: Universidade de Manchester, política de gestão tecnológica (IfM), política de C,T&I (CSTI). A Review of international public sector strategies and roadmaps: A case study in advanced materials (2014) (ADAPTADO).

A Pandemia Covid-19 expôs a grande dependência das cadeias globais de valor e de suprimentos estratégicos por materiais e insumos. Instalou-se uma grave e prolongada crise de desabastecimento de semicondutores e microchips essenciais na economia do século XXI que está paralisando ou desacelerando linhas de produção em vários setores industriais como de bens eletrônicos de consumo, automotivos, aeronáuticos, saúde. Ao mesmo tempo, este desafio acelerou uma dupla transição científica e tecnológica: **Economia Digital e Sustentabilidade ou “Economia Verde”**.

Um Relatório Especial sobre as 10 principais tecnologias emergentes, publicado em novembro de 2020 pelo Fórum Econômico Mundial, ilustra o papel essencial da pesquisa, desenvolvimento, certificação, regulação, produção, comercialização e uso dos Materiais Avançados nas economias inovadoras de alto valor agregado³⁵:

- Microagulhas para testes e injeções indolores na área da saúde
- Química movida à luz solar (processos que usam a luz visível para converter o indesejável dióxido de carbono em produtos químicos e matéria prima a variados processos industriais)
- Pacientes virtuais (substituição de pacientes humanos por simulações que melhoram a segurança e rapidez de testes clínicos)
- Computação espacial (próxima tecnologia na convergência entre os mundos físico e digital, na próxima fronteira da realidade virtual e realidade aumentada)
- Medicina digital
- Aviação elétrica
- Cimento e concreto de baixo carbono
- Sensores quânticos
- Hidrogênio verde (produzido por eletrólise da água empregando energia solar e eólica)
- Síntese genômica completa (ramo avançado da biologia sintética)

Principais vantagens competitivas a beneficiar as empresas com o desenvolvimento e uso de Materiais Avançados:

- **Redução de Custo e Maior Rentabilidade:** melhor desempenho em resistência, leveza e durabilidade, com vida útil prolongada reduzindo custos de substituição e falhas, pode aumentar a rentabilidade produtiva e compensar

³⁵ (<https://www.weforum.org/reports/top-10-emerging-technologies-2020>)

desafios tecnológicos associados à operacionalização e fabricação de materiais relativamente menos funcionais. Exemplo: materiais espumados são menos densos, assim, usam menos matéria-prima, reduzindo, custos de aquisição, estoque, processamento e produção;

- **Sustentabilidade e Impacto Ambiental:** Crescentemente a questão ambiental desafia a civilização moderna. Da responsabilização dos setores produtivos ao esforço pela sustentabilidade a cargo dos Estados nacionais; da redução do impacto ambiental na extração da matéria-prima, produção ao reuso e descarte de insumos e produtos, a área de Materiais Avançados aumenta em importância estratégica pelo potencial em promover soluções ambientalmente mais sustentáveis, limpas e renováveis. Exemplo: materiais naturalmente biodegradáveis podem substituir a matéria-prima de sacolas, embalagens e bandejas plásticas, em geral polietileno, reduzindo o crescente impacto do descarte inadequado, principalmente em cursos de água e oceanos;
- **Aumento da Satisfação e Fidelidade do Cliente:** Pelas propriedades melhoradas, Materiais Avançados podem proporcionar melhor produto final e experiência ao cliente, com maior competitividade e satisfação. Exemplo: melhor performance física (resistência à fratura, retenção de umidade, corrosão, envelhecimento) aumentam a satisfação do cliente com o produto adquirido;
- **Tributação do desenvolvimento tecnológico:** Preços de insumos e produtos finais no mercado são impactados pela alta carga tributária sobre a produção. Isso causa efeitos negativos que podem incluir a falsificação e contrabando de materiais e produtos poluentes e sem a funcionalidade e qualidade necessárias com evasão e perdas econômicas e danos sanitários e ambientais. O desenvolvimento e uso de Materiais Avançados poderia gerar incentivos à regimes específicos de financiamento, depreciação contábil e atuarial e desoneração tributária federal e estadual na exportação e importação de produtos e serviços de interesse do País;
- **Complexidade e incerteza burocrática (segurança jurídica e ambiente de negócio):** O incentivo inteligente à Pesquisa, o desenvolvimento e a inovação em Materiais Avançados poderia contribuir para uma maior estabilidade e resolutividade legal e reduzir entraves tributários, trabalhistas, ambientais e financeiros;
- **Conformidade Regulatória (Metrologia e Normatização):** Marcos legais modernos e rigorosos impõem novos desafios aos processos de desenvolvimento tecnológico, fabricação e escalonamento de novos materiais e produtos. Incluem-se nessa agenda as propostas e iniciativas desenvolvidas em comitês de referência setorial na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) visando estabelecer parâmetros de

exigências de performance para a regulação ou autorregulação pelas empresas e indústrias de nanoproductos. Os Materiais Avançados têm grande potencial de auxiliar as empresas a cumprir a legislação e promover a sustentabilidade ambiental, sem prejuízo do desempenho econômico e produtivo. Exemplo: materiais multifuncionais demandam menos aditivos químicos, facilitando a comprovação da conformidade regulatória na área de aplicação;

- **Outras vantagens para as empresas e o mercado no desenvolvimento e emprego dos Materiais Avançados incluem:** Agregação de valor não tangível e maior proteção à propriedade intelectual tecnológica (PI); Agregação de valor à matérias primas abundantes e estratégicas no Brasil (Nióbio, Lítio, Grafeno, Nanocelulose); Melhor Governança, *Compliance* (Responsabilização) e Transparência (Empresas de capital aberto); Métodos e processos de fabricação mais avançados e descentralizados na manufatura digital (aditiva); Maior alcance dos Objetivos de Desenvolvimento sustentável (ODS);

Legislação do Preço de Transferência para a Exportação e Importação

(Transfer Pricing): Atua sobre o cálculo dos preços de transferência ao Imposto de Renda e a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido, exigidas pelos artigos 18 a 24-B da Lei nº 9.430/96 e permanece pouco inalterada. É um instrumento tributário ainda pouco usado no Brasil que pode favorecer (ou prejudicar) a competitividade das operações de empresas que atuam em países diferentes, incluindo a atração e contabilização de recursos de investimentos em P&D. O uso adequado desse instrumento na área de Materiais Avançados poderia melhorar a confiança dos parceiros (*stakeholders*) sobre a empresa (acionistas, investidores, funcionários, fornecedores).

- **Competitividade e Diferencial de Mercado:** A combinação e somatório, não excludente, das condições e vantagens anteriores, eleva sobremaneira a competitividade econômica, tecnológica e inovadora dos agentes econômicos e cria diferenciais de mercado para os setores público e privado, que favorecem a geração de riqueza, a superação dos desafios sociais e a qualidade de vida da sociedade.

Considerando o potencial dos Materiais Avançados, a Figura 8 apresenta uma estimativa de mercado, por setores estratégicos da economia (R\$ bilhões de reais) até o ano 2050³⁶. O gráfico enfatiza a relevância para a saúde, energia, eletrônicos, e o meio ambiente: remediação, tecnologias para reutilização de resíduos, potencial de descoberta de novos materiais da biodiversidade nacional.

³⁶ **Technology and market perspective for future Value Added Materials.** Final Report from Oxford Research AS, European Commission. 2012. Disponível <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3ab4c7c9-5c8f-4bae-baa5-83bf65a8c675>. Acesso 11.09.2021.

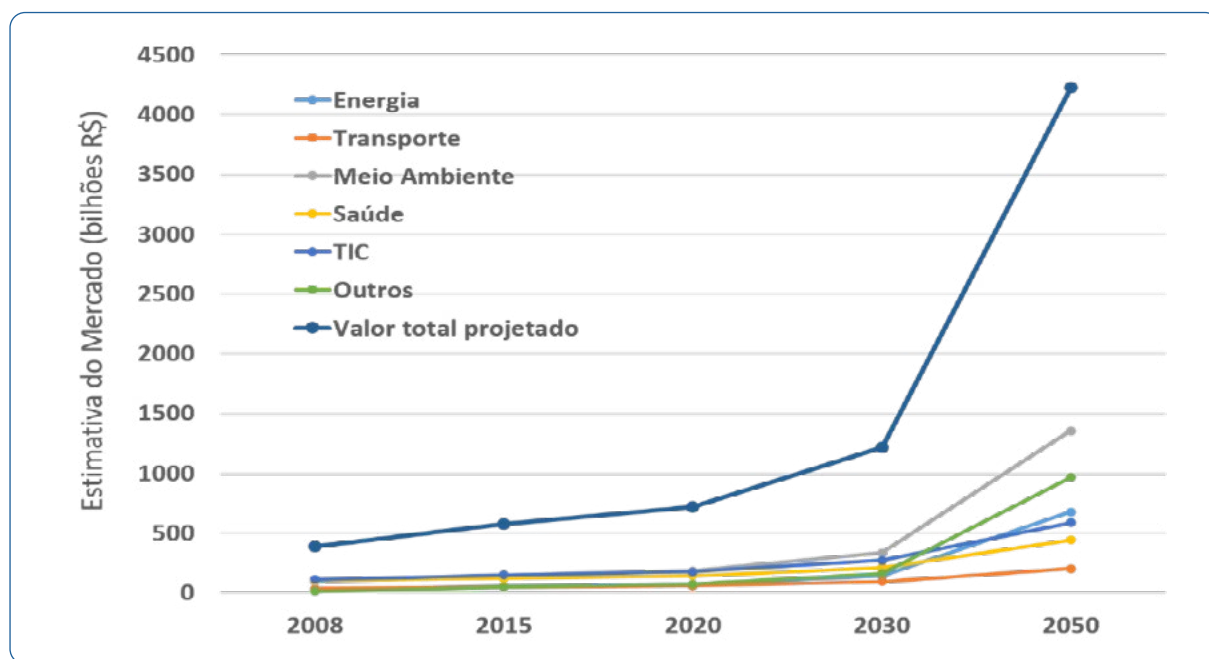


Figura 8. Estimativa de mercado para a área de Materiais Avançados por setores entre 2008 e 2050 (em bilhões de reais).

A Figura 9, elaborada pelo grupo de inovação na indústria da consultoria global Deloitte, apresenta uma concepção de um arranjo de ecossistema de interações entre os principais pilares e forças que moldam os sistemas emergentes de inovação em Materiais Avançados (AMS). Destaca a combinação entre demanda, mercado, e soluções funcionais para criar e disseminar valor e impactos por meio da pesquisa, desenvolvimento e comercialização nesta área essencial.

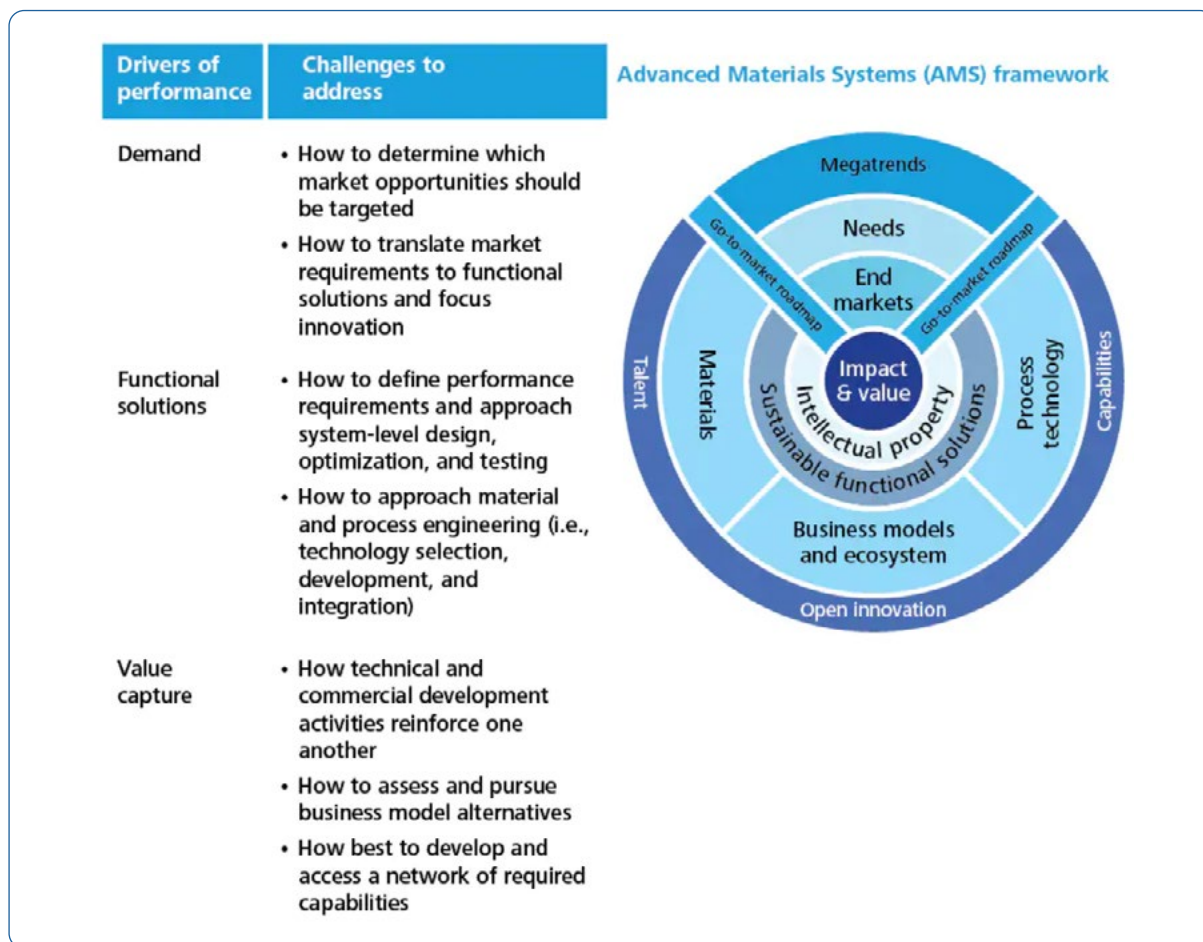


Figura 9: Sistemas de Materiais Avançados (*Advanced Materials Systems - AMS*)

Fonte: Reigniting growth: Advanced Materials Systems (AMS). Disponível - <https://www2.deloitte.com/am/en/pages/manufacturing/articles/reigniting-growth-advanced-materials-systems.html#>

2.3.3 PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO, FORMAÇÃO E CAPACITAÇÃO DE CAPITAL HUMANO

Pelo caráter habilitador e multidisciplinar, a área de Materiais Avançados envolve profissionais de ciências dos materiais, engenharias, matemática, física, química, e mais recentemente, biologia e ciências biomédicas e da vida. Essas áreas desempenham importante interação com o setor produtivo, promovendo novos produtos e agregando valor em processos de manufatura que geram novos empreendimentos de base tecnológica. Em 2021, na área de materiais e correlatas, o Brasil possui 75 (setenta e cinco) cursos de graduação reconhecidos pelo Ministério da Educação (MEC)³⁷, e mais de 90 de pós-graduação (Mestrado e Doutorado aca-

³⁷ Cadastro e-MEC de Instituições e Cursos de Educação Superior, base oficial de informações sobre Instituições de Educação Superior - IES e cursos de graduação do Sistema Federal de Ensino. Disponível: <https://emec.mec.gov.br/emec/nova>. - Acesso: 31 de agosto de 2021.

dêmico e profissional) reconhecidos e avaliados pela CAPES/MEC³⁸, crescimento de 215% de 2008 a 2019. Atualmente, há uma oferta de cerca de 7,5 mil vagas na graduação e mais de 1.500 vagas na pós-graduação, se considerarmos 17 alunos, por ano e por programa. A excelência da maioria dos cursos e programas de materiais, tradicionalmente facilita a contratação desses profissionais para atuar em áreas tecnológicas e científicas e no setor produtivo empresarial.

Em escala global, segundo a CAPES³⁹, observa-se um significativo acréscimo na pesquisa científica na área de ciência dos materiais, com um crescimento de 140% na produção científica, de 2004 a 2017⁴⁰, conforme as Figuras 10 e 11. Em 2019, segundo a plataforma SciVal, Scopus, Elsevier⁴¹, a ciência dos materiais representou 6,1% do total de publicações, e 4,0% no Brasil, segundo a CAPES (plataforma sucupira).

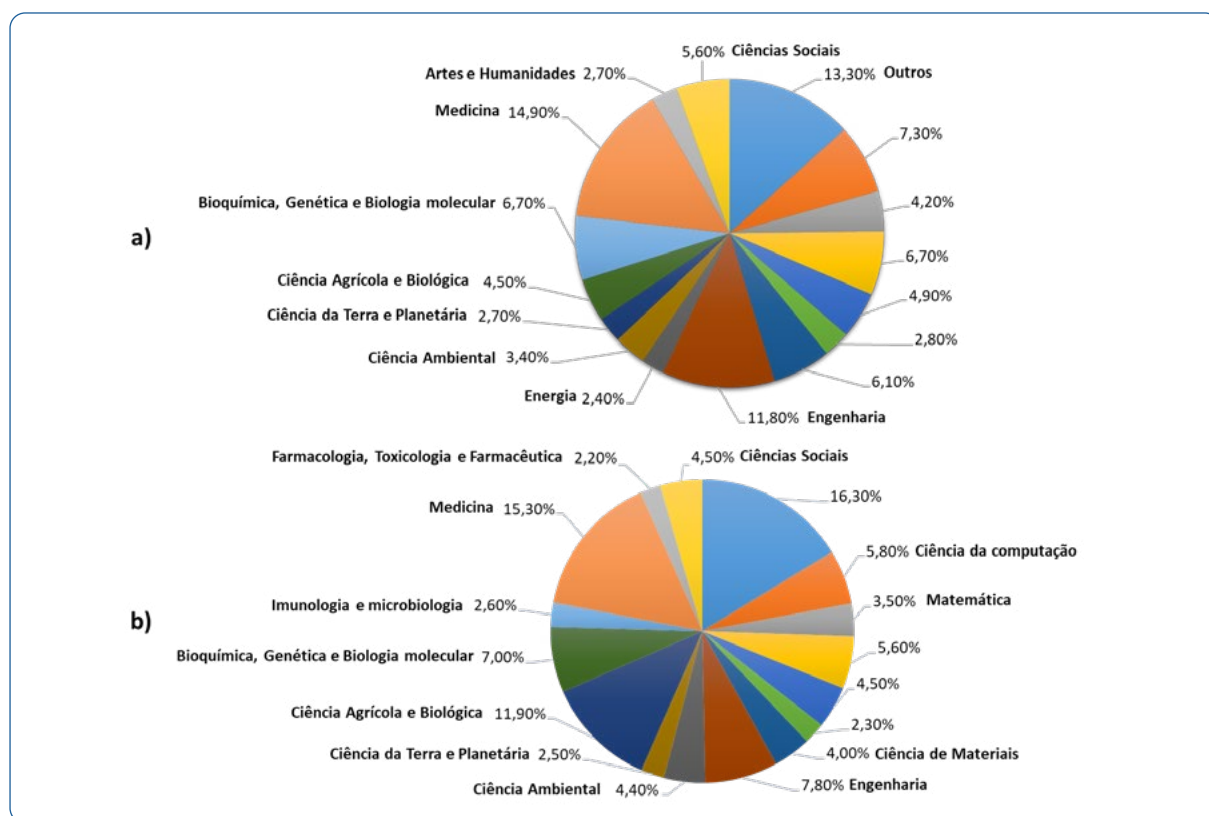


Figura 10: Publicações por área de conhecimento no mundo (a) e no Brasil (b).

Fonte: <https://www.scival.com> - ADAPTADO.

³⁸ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Documento de Área: Materiais. Disponível: - <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/Materiais.pdf>. / https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/Materiais_criterios_2019.pdf. Acesso: 31 de Agosto de 2021.

³⁹ <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/Materiais.pdf>

⁴⁰ Dr. Stewart Bland, Senior Publisher and Editor of Materials Today. Data from Scopus. Advanced Materials and Applications: Tackling new R&D and Engineering Challenges. Elsevier.

⁴¹ <https://www.scival.com/landing>

O significativo crescimento numérico, comparado a outras áreas do conhecimento, demonstra uma crescente relevância em setores como: geração e armazenamento de energia (células de hidrogênio e fotovoltaica); eletrônica (eletrônica orgânica, spintrônica, plasmônica, etc.); e biomateriais (medicina regenerativa, sistemas de entrega controlada de drogas e sistemas de diagnóstico por imagens, hipertermia utilizando partículas magnéticas, etc.).

Os temas mais citados mundialmente em periódicos da área de Materiais referem-se a: a) Biomateriais; b) Cerâmicas e compósitos; c) Materiais eletrônicos, ópticos e magnéticos; d) Metais e ligas; e) Nanomateriais e nanotecnologia; f) Polímeros e plásticos; g) Química de Materiais e h) Superfícies, recobrimentos e filmes⁴².

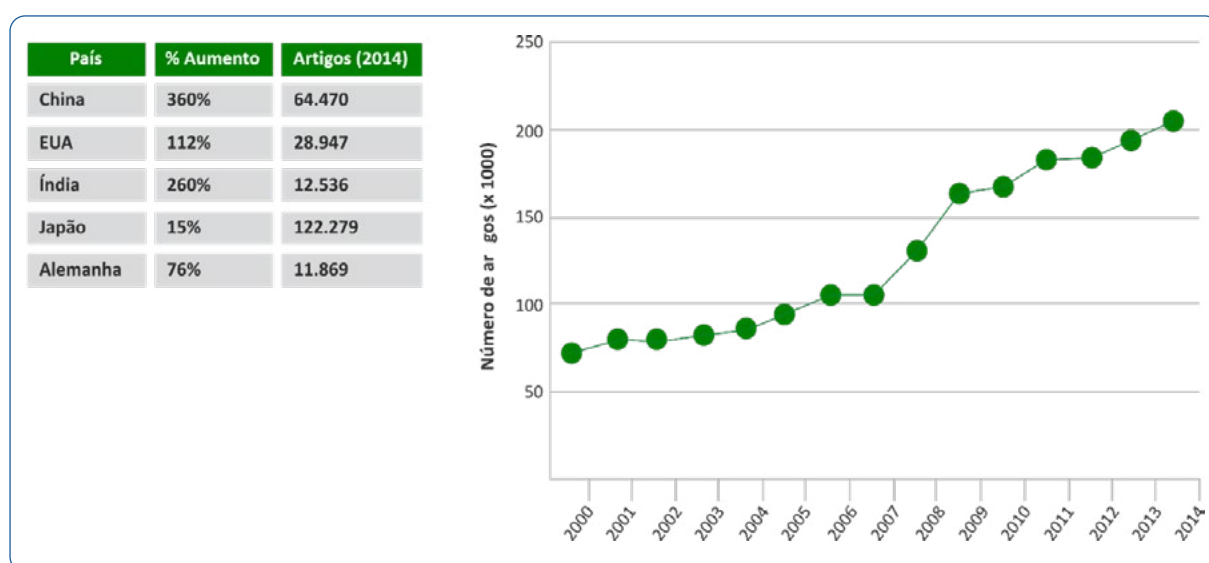


Figura 11: Evolução numérica de artigos científicos publicados no mundo em Materiais Avançados (2004 a 2018).

A Figura 12, demonstra uma evolução aproximadamente linear da produção científica mundial na área de Materiais Avançados em anos recentes, sugerindo sua importância crescente nos países. Contudo, desafios claros e latentes na área continuam: produção economicamente viável de materiais biodegradáveis e de menor poluição ambiental; melhoria dos processos industriais de beneficiamento de materiais para a redução matéria-prima, energia e água; atualização do currículo e da formação continuada dos profissionais diante das rápidas mudanças tecnológicas e das políticas públicas de fomento ao empreendedorismo tecnológico; modelos de negócio viáveis, competitivos e sustentáveis visando o mercado global e não apenas local, etc.

⁴² <http://www.scimagojr.com>

A família das tecnologias convergentes, ou transversais estratégicas é ampla, e incorpora a área de Materiais Avançados. A Figuras 12 e 13 exibem, respectivamente, segundo o relatório mais recente de ciências da Unesco, publicado em junho de 2021, a distribuição das publicações científicas mundiais indexadas, por tecnologia transversal estratégica, no biênio 2018-2019, e o volume global em tecnologias transversais estratégicas, no período 2011 a 2019.

Como demonstra a Figura 12, de 2018 a 2019, a área de materiais contabilizou um número total de 193.592 publicações indexadas (cento e noventa e três mil, quinhentos e noventa e duas), posicionada em terceiro lugar, após as áreas de Energia e Inteligência Artificial e Robótica.

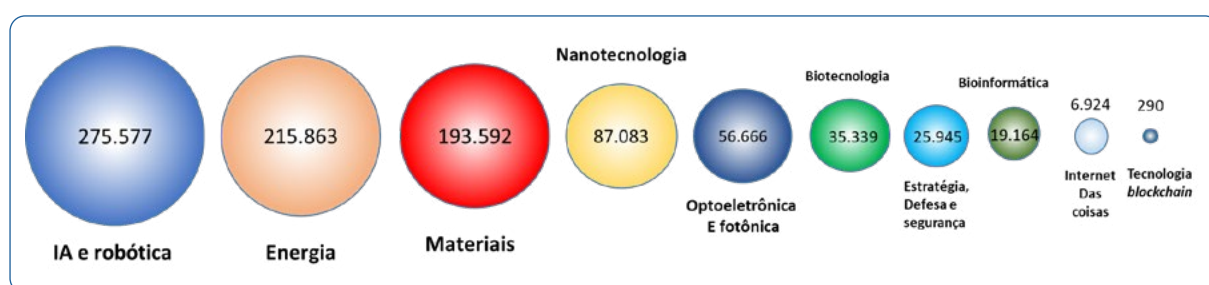


Figura 12: distribuição das publicações científicas mundiais indexadas, por tecnologia transversal estratégica no biênio 2018-2019

Fonte: Unesco Relatório de Ciências 2021, Scopus (Elsevier), exclui artes, ciências humanas e sociais. Dados tratados por Science-Metrix (ADAPTADO).

Nota: Dados bibliométricos nas subáreas do amplo campo das tecnologias transversais estratégicas baseadas em classificação por periódico. Os primeiros periódicos específicos para a tecnologia blockchain surgiram em 2018.

Segundo a Figura 13, de 2011 a 2019, no mundo, medido pelo volume global de publicações indexadas sobre tecnologias transversais estratégicas, o número de publicações em Materiais Avançados aumentou em 76,84% o (52.608 a 93.033).

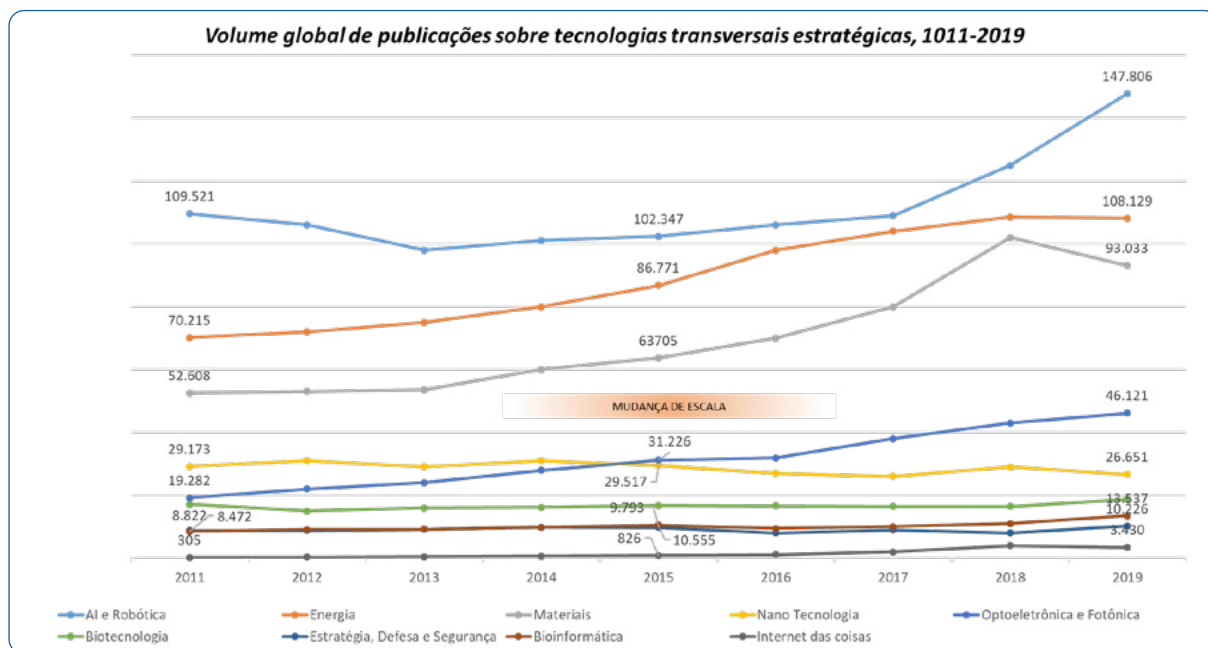


Figura 13: volume global de publicações sobre tecnologias transversais estratégicas, no período 2011 a 2019

Fonte: Unesco Relatório de Ciências 2021. Scopus (Elsevier), exclui artes, ciências humanas e sociais. Dados tratados por Science-Metrix.

Nota: A soma dos números das várias regiões excede o número total porque os artigos com autores de diferentes regiões são contados individualmente para cada região. Tecnologias transversais estratégicas abrangem IA e robótica, bioinformática, biotecnologia, tecnologia blockchain, energia, internet das coisas, materiais, nanociência e nanotecnologia, optoeletrônica e fotônica, e estudos estratégicos, de defesa e segurança. Nenhum periódico indexado pela Scopus especializado em tecnologia blockchain publicou artigos antes de 2018.

A Figura 14, obtida do relatório de ciências da Unesco edição 2021, exibe uma visão panorâmica dos países com maior número de publicações acadêmicas em tecnologias transversais estratégicas, com a proporção (percentual) nos países do G20 (2015 a 2019).

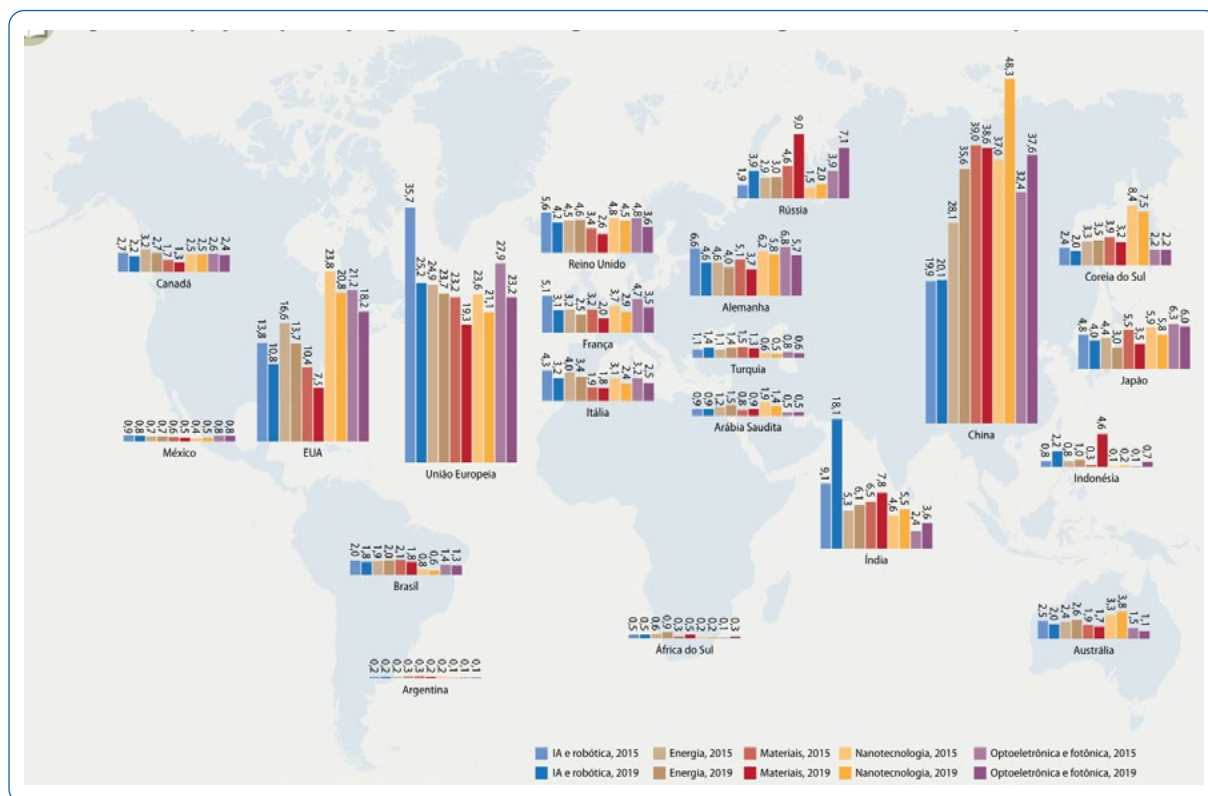


Figura 14: proporção (%) de publicações globais sobre tecnologias transversais estratégicas selecionadas entre os países do G20, nos anos 2015 e 2019

Fonte: Unesco Relatório de Ciências 2021. Scopus (Elsevier), exclui artes, e ciências humanas e sociais. Dados tratados por Science-Matrix. **Nota:** IA (Inteligência Artificial). Percentuais refletem contribuições não exclusivas. Conta-se para cada país artigos com autores de diferentes países

Fortalecendo a relevância acadêmica da área de Materiais Avançados, a Figura 15 exhibe, de forma desagregada, a evolução percentual em 21 países das publicações científicas na área de ciência de materiais (2011-2015-2019). Em 2019, o Brasil contribuiu com 1.680 publicações indexadas (1,80%).

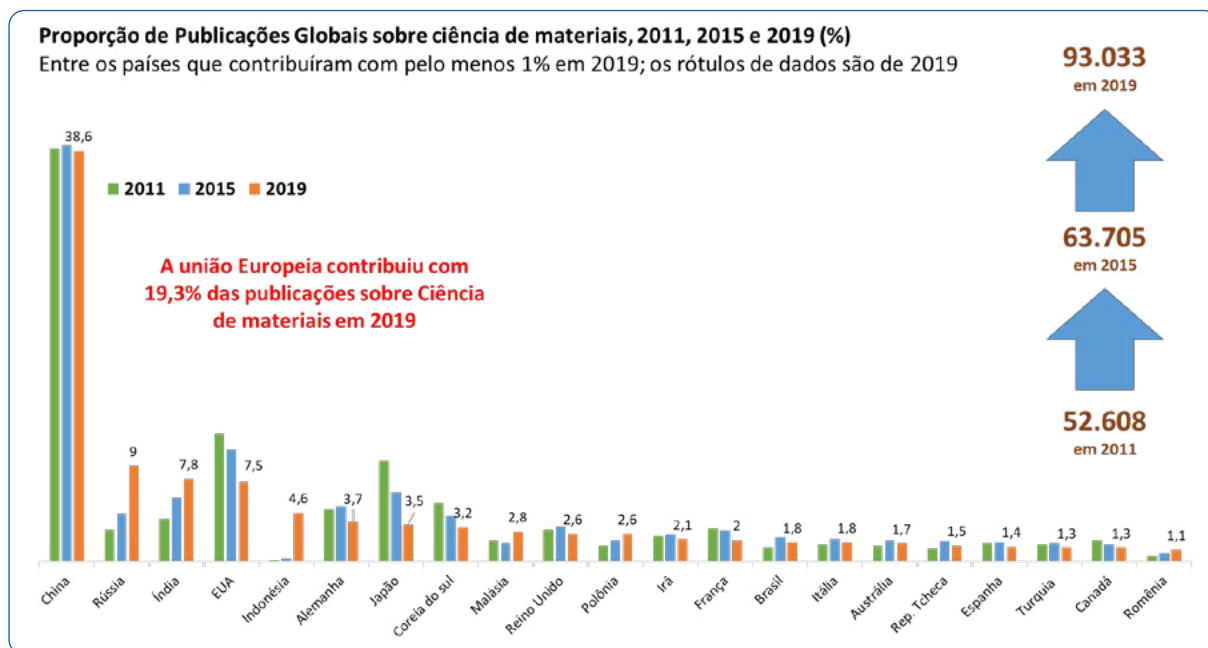


Figura 15: Tendência em publicações científicas sobre ciência de materiais

Fonte: Relatório da Ciência, UNESCO 2021.

No cenário nacional, existe uma comunidade científica relativamente consolidada na área de materiais, como demonstram os dados associados aos cursos de graduação e pós-graduação citados, e da produção anual de artigos/documentos indexados que correspondem a aproximadamente 1,8% da produção mundial na área (UNESCO, 2021), levando a comunidade científica brasileira a uma posição de proporcional destaque. As subáreas de maior produção científica são: materiais miscelâneos, química de materiais e materiais eletrônicos, ópticos e magnéticos. Quanto aos grupos nacionais de pesquisa com o filtro “Materiais” no nome, uma busca em setembro de 2021 no Diretório de Grupos de Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)⁴³, retornou **352 grupos** ou 0,91% do total (37.640 grupos de pesquisa) com cerca de **1.750** pesquisadores (média 5,3 pesquisadores por grupo).

2.3.4 PROGRAMAS E INICIATIVAS DE MATERIAIS AVANÇADOS NO BRASIL

Historicamente, o Estado brasileiro articula e fomenta, em particular por meio do MCTI e suas agências de fomento e das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (FAPs), programas estruturados para o desenvolvimento da CT&I nacional. Os quatro principais programas recentes de pesquisa, desenvolvimento tec-

⁴³ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Diretório de Grupos de Pesquisa. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp>>. Acesso: 03.09. 2021.

nológico e inovação contemplando Materiais Avançados, são: Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT); Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP); Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO); e a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPII).

- **Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT)⁴⁴:** Oficialmente lançado em 27 de novembro de 2008 pelo MCT, por meio do CNPq, o Programa INCTs, apresentou metas ambiciosas e abrangentes para mobilizar e agregar, de forma articulada, os melhores grupos de pesquisa em áreas de fronteira e estratégicas da ciência para o desenvolvimento sustentável do País. Os objetivos contemplaram: impulsionar a pesquisa científica básica e fundamental competitiva internacionalmente; estimular o desenvolvimento de pesquisa científica e tecnológica de ponta, associada a aplicações para promover a inovação e o empreendedorismo, em articulação com empresas inovadoras. O MCTI realizou, via CNPq, três chamadas públicas (2008, 2010 e 2014), com aporte total de R\$ 1,1 bilhão, incluindo recursos do MCTI, FNDCT, CNPq, FINEP, CAPES e algumas Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa, como FAPESP, FAPERJ e FAPEMIG. De 122 INCTs contratados em 2008, oito (7% do total, ou 25% em áreas correlatas) envolveram direta ou indiretamente a área de Materiais Avançados.
- **Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID)⁴⁵:** Lançado pela FAPESP, em 2000, como suporte a 11 Centros de pesquisa (2001 a 2013). Em 2011, houve uma segunda chamada de propostas, que originou os 17 CEPIDs atualmente apoiados. O CEPID tem por missão desenvolver a investigação fundamental ou aplicada, focada em temas específicos; contribuir ativamente para a inovação por meio de transferência de tecnologia; e oferecer atividades de extensão voltadas para o ensino fundamental e médio e para o público em geral. O perfil mais relevante dos Centros é a multiplicidade de atividades, cabendo-lhes o desenvolvimento da pesquisa fundamental ou aplicada de alto nível, e a busca de oportunidades para a inovação de base tecnológica, o empreendedorismo, e a difusão e transferência de conhecimento ao setor privado e para a sociedade. O financiamento total aos 17 Centros em 11 anos está estimado em cerca de R\$ 1,4 bilhão, R\$ 760 milhões da FAPESP e R\$ 640 milhões em salários das instituições-sedes aos pesquisadores e técnicos. Quatro CEPIDs (24% do total), desenvolveram ações direta e indiretamente vinculadas à área de Materiais Avançados.

⁴⁴ Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs). Disponível: < <http://inct.cnpq.br/>>. Acesso: 03.09.2021.

⁴⁵ Programa Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Disponível: <<http://cepid.fapesp.br/home/>>. Acesso: 03.09.2021.

- **Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO):** O SisNANO, uma das principais ações da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), foi instituído pela Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012 e é formado por um conjunto de laboratórios direcionados à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação (PD&I) em nanociências e nanotecnologias, com a característica essencial multiusuário e de acesso aberto, mediante submissão de propostas de projetos de PD&I ou requisição de serviços tecnológicos. A gestão do SisNANO está sob responsabilidade da Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH/SEMPI/MCTI). Vinte e seis (26) laboratórios integraram a primeira fase (2013-2018) do SisNANO, que teve aporte de aproximadamente R\$ 88 milhões de recursos do MCTI/FNDCT, visando, principalmente, a melhoria da infraestrutura, a manutenção de um corpo técnico-científico qualificado para o desenvolvimento das missões dos laboratórios e seu acesso aberto, atendendo usuários e instituições dos setores públicos e privados. Atualmente, o SisNANO está em sua segunda fase (2019-2023), da qual 23 (vinte e três) conjuntos de laboratórios, distribuídos por todas as 5 regiões geográficas do Brasil, fazem parte.
- **Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii):** Qualificada pelo governo federal como organização social, a Embrapii recebe recursos por meio de contratos de gestão demandados pelo MCTI, Ministério da Saúde e Ministério da Educação, e financia até 1/3 (um terço) do valor de projetos de inovação de empresas brasileiras, com recursos não reembolsáveis. Atualmente com 76 (setenta e seis) unidades credenciadas em todo País, tem por missão apoiar instituições de pesquisa tecnológica em selecionadas áreas de competência, na execução de projetos de desenvolvimento para a inovação focados em demandas empresariais e compartilhamento do risco na fase pré-competitiva, em cooperação com empresas e indústrias. As unidades Embrapii na área de Materiais originalmente começaram com os credenciamentos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em materiais de alto desempenho, Instituto SENAI de Inovação em metalurgia e ligas especiais, Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) em processamento de biomassa, e Instituto SENAI de Inovação em engenharia de polímeros.
- **Rede MCTI-Embrapii de Inovação em Grafeno:** Para acelerar o fomento e resultados da PD&I em Grafeno, um dos Materiais Avançados de maior potencial econômico, o MCTI e a Embrapii criaram, em outubro de 2020, uma Rede de Inovação específica com o objetivo de incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de aplicações industriais do material no País. Busca revolucionar o processo industrial e os modelos de negócios, alinhando as demandas do setor empresarial pela tecnologia, para aumento da

competitividade nacional⁴⁶. Atualmente, a Rede MCTI/Embrapii em Grafeno possui 16 Unidades credenciadas, que elevam a maturidade tecnológica do desenvolvimento e uso do material por meio de projetos cooperativos de P&D, que potencializam soluções para demandas por inovação da indústria nacional, tornando-a mais produtiva, especializada e competitiva. No momento, em setembro de 2021, identificam-se 11 projetos, contratados, ou em fase final de contratação na área de Materiais em parceria com empresas, com investimento de cerca de R\$ 18,7 milhões.

- **Implantação do Laboratório de Materiais Avançados e Minerais Estratégicos (GraNioTer-MCTI):** No âmbito da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados, criada pelo Decreto nº 10.746/2021, insere-se de forma destacada a criação do Laboratório de Materiais Avançados e Minerais Estratégicos (GraNioTer)⁴⁷, em implantação na sede do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), no campus da Universidade Federal de Minas Gerais em Belo Horizonte (UFMG). Expressa uma diretriz central do MCTI em promover uma maior integração da oferta potencial da capacidade científica e tecnológica instalada na rede de ICT's, com a demanda por aportes e desafios tecnológicos das empresas brasileiras. Sua contribuição será fundamental para a redução do fosso tecnológico entre nossa indústria e a forte competição internacional, ampliando as especializações produtivas de alta complexidade e domínio tecnológico, aumentando a produtividade de bens e serviços e a parcela de produtos e processos de alto valor agregado e a elasticidade-renda nas exportações brasileiras. A partir do segundo semestre de 2022, em sua fase inicial, será um laboratório avançado de PD&I capaz de aprofundar e especializar as cadeias produtivas e de inovação baseadas em Materiais Avançados e minerais estratégicos, em particular o Grafeno, e outros nanomateriais 2D e 3D, Nióbio, Lítio, e terras raras. Seu modelo flexível de governança e operação permitirá a integração gradual, conforme oportunidades do mercado, de outros Materiais Avançados e minerais estratégicos na pesquisa e desenvolvimento tecnológico, visando, sempre, as soluções e aplicações inovadoras. Dentre os impactos mensuráveis antecipados destacam-se: Nióbio - adensamento tecnológico da cadeia de beneficiamento do mineral, hoje restrita ao beneficiamento primário, concentração/óxidos/ferroligas; Terras raras - ainda sem produção nacional significativa desta matéria prima; Grafeno - apoio à internalização das fases finais do desenvolvimento tecnológico, produção caracterizada de variedades de grafeno, conforme demanda das empresas nacionais e exportação.

⁴⁶ <https://embrapii.org.br/wp-content/images/2020/10/Rede-MCTI-EMBRAPII-de-Grafeno.pdf>

⁴⁷ <https://www.cdtm.br/materiais-e-minerais/88-cdtm/artigos/pesquisa-e-desenvolvimento/materiais-e-minerais/770-laboratorio-de-materiais-avancados-e-minerais-estrategicos-lma-granioter>

- **Centros de Tecnologia e Inovação Aplicadas em Materiais Avançados (CTIA-MA-MCTI):** Já por meio da Seleção Pública nº 09 de 2021, o MCTI e a FINEP selecionaram propostas para estruturação de dois Centros de Tecnologia e Inovação Aplicadas em Materiais Avançados (CTIA-MA), através da concessão de recursos não reembolsáveis por meio do Instrumento Cooperativo ICT- Empresa para o desenvolvimento de produtos, processos e/ou serviços inovadores. Assim, espera-se apoiar a estruturação de centros capazes de desenvolver pesquisas tecnológicas e de inovação aplicadas, de forma conectada e integrada com outros agentes do sistema de inovação ao seu redor, demonstrando capacidade de internalização e externalização de conhecimento por meio de combinação de tecnologias e recursos interdisciplinares, provenientes de diferentes fontes, tais como instituições de ciência e tecnologia (ICTs), empresas consolidadas, parceiros internacionais, startups, etc. Com essa iniciativa espera-se contribuir para uma política de Estado que eleve o desenvolvimento tecnológico e a inovação no País visando a comercialização de produtos e serviços de alto valor agregado em Materiais Avançados e minerais estratégicos, de forma a reduzir o déficit tecnológico e atingir a soberania nacional no tema Materiais Avançados.

Outros Programas e iniciativas relevantes no Brasil que incluem Materiais Avançados: (i) No âmbito da FINEP-MCTI, os Centros Nacionais Multiusuários e Laboratórios Abertos; Programa Proinfra, destinado à apoiar projetos de implantação, modernização e recuperação de infraestrutura física em universidades e instituições públicas de pesquisa; Programa Rota 2030; Programas CENTELHA; e, Programa Finep Startups; Programa de Centros de Inovação em Nanotecnologia (SibratecNANO-SisNANO-MCTI); (ii) Infraestruturas Singulares em materiais, tais como a Fonte de Luz Sincrotron de 4ª Geração Sirius, implantado no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM-MCTI) e o Supercomputador Santos Dumont, em funcionamento no Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC-MCTI); (iii) a Rede dos Institutos SENAI de Inovação, composta por 26 Instituto, atua desde a fase pré-competitiva do processo inovativo e atuam até a etapa final de desenvolvimento, quando o novo produto está prestes a ser fabricado pela indústria; (iv) Institutos de Ciência e Tecnologia vinculados ao Ministério da Defesa, tais como o Centro de Avaliações do Exército (CAEx) e o Centro Tecnológico do Exército (CTEx), ambos ligados ao Exército Brasileiro, o Centro Tecnológico da Marinha (CTM), ligado à Marina do Brasil, e o Instituto de Estudos Avançados (IEAv), ligado ao Comando da Aeronáutica; e (v) Ambientes de inovação especializados, que incluem parques tecnológicos, incubadoras, aceleradoras, espaços de trabalho colaborativos, espaços *makers* e outros.

2.3.5 PRINCIPAIS CHAMADAS PÚBLICAS E EDITAIS RECENTES EM MATERIAIS AVANÇADOS

O ano de 2020 representa um marco de aceleração do investimento na área de Materiais Avançados no Brasil. Seguem os principais destaques dos editais e chamadas públicas lançadas pelo MCTI em parceria com a FINEP e o CNPq:

Chamada CNPq/SEMPI/MCTI nº 021/2021 - Programa RHAE (Recursos Humanos em Áreas Estratégicas): Lançada em setembro de 2021, destinou R\$ 43 milhões para apoiar cerca de 160 projetos, em duas linhas de pesquisa: **Apoio a projetos de PD&I de empresas inovadoras; e Apoio a projetos de PD&I de Startups.** A iniciativa teve como objetivo conceder bolsas de fomento tecnológico para incentivar a inserção de pesquisadores em projetos de PD&I em empresas, colaborando para a formação e fixação de capital humano especializado no ambiente produtivo, o desenvolvimento da pesquisa científica e tecnológica e a promoção da inovação tecnológica nas empresas. A intenção é apoiar projetos de PD&I que contribuam para o desenvolvimento científico e tecnológico, a inovação e o empreendedorismo no Brasil em áreas tecnológicas prioritárias estabelecidas pela Portaria MCTI nº 5.109/2021, em particular, nas áreas de Tecnologias Estratégicas e Habilitadoras, incluindo Materiais Avançados, Negócios de Impacto e Startups aptas e habilitadas a trabalhar e vender para órgãos do governo (*GovTechs*).

- **Seleção Pública - Centros de Tecnologia e Inovações Aplicadas em Materiais Avançados - MCTI/FINEP/FNDCT 09/2020:** Lançada em outubro de 2020 no valor limite de R\$ 8 milhões, objetivou estruturar até dois Centros de Tecnologia e Inovação em Materiais Avançados. O foco é o desenvolvimento de pesquisas tecnológicas e inovação aplicadas integradas aos agentes do sistema de inovação, como ICTs, empresas de vários portes e setores da indústria, em particular às startups, geração ou atração de Spin-offs para incorporar os resultados das pesquisas em seus produtos, bens e serviços. Em agosto de 2021 foi divulgado o resultado final de dois centros selecionados vinculados ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em São Paulo, e à Universidade de Caxias do Sul (UCS) no Rio Grande do Sul, ambas, unidades credenciadas Embrapii⁴⁸.
- **Seleção Pública - Materiais Avançados e Minerais Estratégicos:** Lançada em outubro de 2020, para selecionar projetos de pesquisa, desenvolvimento e/ou inovação, de Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) nas áreas de Materiais Avançados e Minerais Estratégicos, com recursos não reembolsáveis do FNDCT, de até R\$ 10 milhões. Objetivou escalonar e acelerar pesquisas aplicadas desenvolvidas por ICTs e promover a inovação, por meio

⁴⁸ <http://www.finep.gov.br/en/chamadas-publicas/chamadapublica/656>

da colaboração com empresas brasileiras. Em maio de 2021 foi publicado o resultado final apresentando as 05 propostas selecionadas dentro do valor disponível⁴⁹.

- **Chamada Pública de Subvenção Econômica à Inovação em Materiais Avançados - 05/2020:** Lançada em julho de 2020, destinou R\$ 10 milhões para o desenvolvimento de projetos na área de Materiais Avançados. Teve como objetivo conceder recursos de subvenção econômica para o desenvolvimento de produtos, processos e/ou serviços inovadores aplicados em projetos de alto risco tecnológico com atividades compreendidas entre os níveis de maturidade tecnológica (TRLs 4 a 7), em Materiais Avançados, e propriedades superlativas derivadas das aplicações do Grafeno, Nióbio e Terras Raras. Em janeiro de 2021, a FINEP divulgou o resultado final recomendando cerca de R\$ 9,5 milhões em subvenção que somados à contrapartida das empresas, ultrapassou R\$ 17 milhões, para 09 projetos de empresas nacionais selecionadas: quatro, com receita anual bruta superior a R\$ 90 milhões, e 5 inferiores a R\$ 90 milhões⁵⁰.
- **Seleção Pública MCTIC/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação - 03/2020:** Lançada em junho de 2020 com recursos de subvenção econômica para o desenvolvimento de soluções inovadoras por startups e empresas de base tecnológica, preferencialmente em cooperação com ICTs, atendendo demandas dos setores público e privado, na prevenção, diagnóstico, mitigação, tratamento e combate ao coronavírus e Covid-19. Buscou propostas com a incorporação de novas soluções tecnológicas, baseadas em nanotecnologia, Materiais Avançados, inteligência artificial, Internet das Coisas, biologia sintética e outras, para maior funcionalidade aos equipamentos, peças e insumos específicos na pandemia. O resultado final em agosto de 2020, selecionou 61 projetos com duas suplementações de recursos nos meses seguintes, atingindo mais de R\$ 23 milhões investidos⁵¹.
- **Chamada Pública para Seleção de Empreendimentos e Soluções de Base Tecnológica na Área de Grafeno:** Lançada em março de 2020 pela SEMPI/MCTI em parceria com o CNPq, tem como objetivo apoiar propostas de pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação para gerar empreendimentos e soluções tecnológicas na área de grafeno. Na primeira fase, de 6 meses, 29 equipes empreendedoras trabalharam na elaboração de Planos de Negócios para soluções baseadas em Grafeno. As 10 melhores propostas seguiram para a segunda fase, iniciada na segunda quinzena de setembro de

⁴⁹ <http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/655>

⁵⁰ <http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/645>

⁵¹ <http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/642>

2021, e ao final de 18 meses espera-se que as equipes tenham desenvolvido o seu produto mínimo viável⁵².

2.3.6 PRINCIPAIS PROGRAMAS INTERNACIONAIS EM MATERIAIS AVANÇADOS

Os Materiais Avançados são estratégicos e prioritários para a manutenção da prosperidade em sociedades com economias baseada no conhecimento, inovação, e sofisticação tecnológica. Além de indispensáveis para sustentar uma indústria de alto valor agregado, tornaram-se essenciais para a inovação em uma série convergente de tecnologias e setores industriais crescentemente críticos para a autonomia e soberania das economias centrais. Segundo a revista Forbes, conceituada publicação de negócios, no primeiro semestre de 2020, impulsionada pela pandemia e os negócios da grande indústria farmacêutica, 56 (cinquenta e seis) companhias na área de biologia sintética mobilizaram investimentos globais em ações corporativas (*equity*) no valor de US\$ 3,0 bilhões (três bilhões de dólares norte-americanos), contra 65 companhias e US\$1,9 bilhões, no mesmo período de 2019.⁵³ Em outro setor crítico para a cadeia econômica de semicondutores, segundo relatório da consultoria Deloitte em Taiwan, em 2019, o setor teria alcançado um faturamento estimado em US\$515,5 bilhões⁵⁴. Em 2021, em função de fortes desequilíbrios entre oferta e demanda na pandemia e seu papel crítico na revolução digital e recuperação, estimam, as consultorias KPMG, Observatório do Mercado de Semicondutores e Estatísticas do Comércio Global de Semicondutores⁵⁵: crescimento de 19,7% sobre o ano anterior (2020), mobilização de US\$122 milhões em novos investimentos, construção de 19 novas fábricas, e faturamento de US\$527 bilhões, estimados em US\$ 573 bilhões, em 2022. Em 2028, o mercado espera o faturamento global do setor de semicondutores alcançar impressionantes US\$ 803,1 bilhões ⁵⁶.

⁵² http://memoria2.cnpq.br/web/guest/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_OZaM&filtro=encerradas&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=9362

⁵³ FORBES (09.Set.2020). Startups em Biologia Sintética Mobilizaram US\$3,0tri no segundo semestre de 2020. Disponível: <https://www.forbes.com/sites/johncumbers/2020/09/09/synthetic-biology-startups-raised-30-billion-in-the-first-half-of-2020/>. Acesso 05.09.2021.

⁵⁴ DELOITTE (29.Abril.2019). Semicondutores – A Próxima Onda | Oportunidades e estratégias vencedoras para as empresas de semicondutores. Disponível: <https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/semiconductors-the-next-wave-2019.html>. Acesso 06.09.2021.

⁵⁵ (<https://www.wsts.org/>

⁵⁶ KPMG (Fev.2021). Industria global de semicondutores perspectiva para 2021. Disponível <https://advisory.kpmg.us/articles/2021/global-semiconductor-industry-outlook-2021.html>. - <https://electronics-sourcing.com/2021/08/19/semiconductor-midyear-outlook-chip-revenue-will-rise-nearly-20-in-2021/>. Acesso 09.09.2021.

Considerando os destaques acima em uma rápida transformação digital global, segue uma breve descrição atualizada das principais estratégias para o desenvolvimento da Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação e Negócios em Materiais Avançados, adotadas pela União Europeia, BRICS, Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Países Baixos, Japão e República da Coreia.

UNIÃO EUROPEIA: A Comissão Europeia reconhece nos Materiais Avançados, incluindo a nanotecnologia, a fotônica, a biotecnologia, e a biologia sintética, uma das cinco áreas-chave para o crescimento sustentado industrial, capaz de promover o crescimento econômico, a criação de emprego, prosperidade e bem-estar da população. As áreas-chave estão associadas a níveis elevados de transformação em tecnologia industrial com relação aos mercados e aos desafios sociais, isto é, transformar a ciência e tecnologia de materiais em uma vasta área de aplicações reais, que incluem saúde, energia, transportes, tecnologias de informação e comunicação, segurança, alterações climáticas, tecnologias alimentares, entre outras. Tal desafio é centrado na estratégia “Europa 2020”, que busca um crescimento inteligente e sustentável de produtos e soluções baseados em materiais ambientalmente favoráveis e meios renováveis, intensivos em pesquisa, desenvolvimento e inovação. A Comissão Europeia considera os materiais uma área emergente e essencial para a geração de produtos inovadores de alto valor agregado. Exemplos: *smartphones*, *tablets*, computadores, equipamentos biomédicos, telas e eletrônicos avançados para sistemas de informação e comunicação, baterias e soluções em armazenamento de energia, estruturas leves, maleáveis e mais resistentes a esforços mecânicos e corrosão química, nanomedicamentos, agricultura e alimentação de alta tecnologia, tecidos inteligentes, etc.

Em 2004, teve início a plataforma tecnológica europeia para os Materiais Avançados (EUMAT), composta por membros ativos da academia, pesquisa e da indústria, como um fórum especializado de contribuição ao debate sobre o papel-chave dos materiais e tecnologias avançadas essenciais. Em 2013 a iniciativa tornou-se parceira oficial da Comissão Europeia.

Os sucessivos programas-quadro plurianuais de Pesquisa e Inovação do bloco, atualmente com 27 países, destacam os Materiais Avançados para o desenvolvimento econômico, prosperidade, sustentabilidade e bem-estar europeu. Em 2021, em substituição ao “Horizonte 2020”, iniciou-se o Programa-Quadro “Horizonte Europa 2021-2027” com investimento estimado em €95,5bi. EUR (2021-2027), incluindo €5,4bi. O Horizonte Europa estrutura-se em 3 pilares: I – Excelência científica e tecnológica no Espaço Europeu da Pesquisa (EEI); II – Desafios globais e competitividade da indústria europeia (SOCIEDADE);

III – Europa inovadora (ECONOMIA)⁵⁷. Em março de 2021, o Programa adotou seu primeiro Plano Estratégico (2021-2024) onde sobressai a transversalidade da área de Materiais Avançados no conjunto das orientações estratégicas para a Pesquisa, o Desenvolvimento e a Inovação em pelo menos 4 dos 5 clusters (agrupamentos setoriais) existentes: Cluster 1 – Saúde; Cluster 3 – Segurança civil para a sociedade; Cluster 4 – Digital, Indústria e Espaço; Cluster 5 – Clima, Energia e Mobilidade⁵⁸. Em sua renovada governança, os Programas de Trabalho do Programa quadro incorporam: o Conselho Europeu de Pesquisa (ERC); o Centro Comum de Pesquisa (JRC); e, o Conselho Europeu da Inovação (CEI)⁵⁹. A estratégia de execução obedece aos seguintes princípios e diretrizes: Concepção conjunta e flexibilidade visando: Maximizar os impactos; Aumentar a transparência e simplificação (modelo de subvenção e orientação aos beneficiários); Promover sinergias com outros programas de financiamento da EU; Facilitar o acesso pela transformação digital e o engajamento (Portal único para financiamento e seleção – com acesso simplificado ao financiamento da UE e execução de projetos)⁶⁰.

Em maio de 2021, a Comissão Europeia atualizou a política industrial de 2020 “Rumo a um mercado comum mais forte para a recuperação europeia”, valorizando sua nova “década digital” em um contexto de saída da pandemia de Covid-19 onde sobressai a relevância dos Materiais Avançados. Diante dos grandes desafios introduzidos pela pandemia, incorporou uma nova avaliação extensiva de suas “dependências estratégicas e capacidades” segundo os fatores-chave para a transformação industrial em 14 ecossistemas, demonstrados na Figura 16.

⁵⁷ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe_en

⁵⁸ <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/3c6ffd74-8ac3-11eb-b85c-01aa75ed71a1>

⁵⁹ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/strategic-plan_en

⁶⁰ https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/industrial-research-and-innovation/key-enabling-technologies/advanced-materials_en

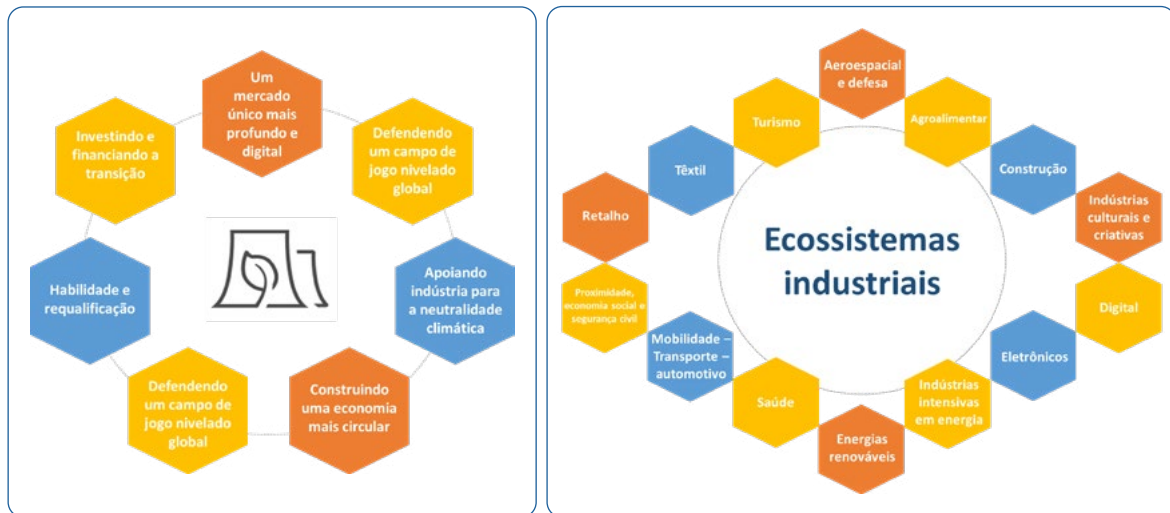


Figura 16: Fatores fundamentais da transformação industrial europeia (esquerda) em 14 ecossistemas, segundo a política industrial europeia 2020

Fonte: EUROPEAN INDUSTRIAL STRATEGY: A new Industrial Strategy for a globally competitive, green and digital Europe.

Para reforçar o papel essencial dos Materiais Avançados nas políticas europeias, no contexto do programa “Horizonte Europa” destaca-se que, em setembro de 2021, o governo central (Comissão Europeia) lançou 5 missões-desafios específicos, no horizonte 2030: 1) Adaptação à mudança climática: Apoio a pelo menos 150 regiões e comunidades europeias tornarem-se resilientes ao clima, até 2030; 2) Câncer: melhoria da qualidade de vida de mais de 3 milhões de pessoas, até 2030, por meio da prevenção, tratamento e cura aos pacientes, incluindo suas famílias; 3) Recuperação de oceanos e recursos hídricos, até 2030; 4) Cem cidades inteligentes e neutras em carbono (net-zero), até 2030; 5) Um pacto europeu em favor dos solos: 100 laboratórios vivos para acelerar a transição rumo a solos saudáveis, até 2030.

GRUPO BRICS: Acrônimo dos países membros Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul, formam um grupo político de cooperação em diversos temas e setores. Sua coordenação política concentra as principais ações em duas vertentes: reuniões e organismos internacionais e construção entre membros de uma agenda de cooperação multissetorial para alavancar os interesses econômicos, científicos e tecnológicos. Na área de CT&I, em 2015, celebrou-se um Memorando de Entendimento (MdE) para a cooperação, estabelecendo três instâncias de governança e tomada de decisão: reunião dos Ministros de CT&I; reunião de oficiais sêniores em CT&I; e Grupos de Trabalho em CT&I. Quanto aos Materiais Avançados, a parceria identificou quatro ações estruturantes: Centro BRICS de Ciências dos Materiais e Nanotecnologia; Grupo de Trabalho BRICS sobre Infraestruturas de Pesquisa e Mega Projetos de Ciência; Fórum BRICS de Jovens Cientistas; e Agências de Fomento BRICS – Chamada Multilateral Conjunta. Em agosto de 2021 foi lançada,

com prazo de 14 de outubro de 2021, a 5ª Chamada Coordenada dos BRICS para Projetos Multilaterais no âmbito do Programa-Quadro em CT&I⁶¹. A chamada está organizada em 10 áreas temáticas, desdobradas em setores tecnológicos, e destaca-se que os Materiais Avançados são habilitadores tecnológicos a todas. Em particular, na Área 5 – inovação e empreendedorismo em fotônica, nanofotônica e metamateriais para os desafios em biomedicina, agricultura, indústria de alimentos e geração, distribuição e armazenamento de energia; e, Área 6 – ciência dos materiais e nanotecnologias para soluções aos desafios ambientais, mudança climática, agricultura, alimentos e energia. Nos dias 26 a 28 de outubro de 2021 será realizada por videoconferência, hospedada na cidade de Manaus, Amazonas, o terceiro encontro do Grupo de Trabalho BRICS em ciência dos materiais e nanotecnologia. O encontro irá avaliar e debater os resultados alcançados na parceria, e possibilitar o aprimoramento das ações definidas no segundo encontro hospedado pela Índia, realizado virtualmente em outubro de 2020.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA: O sistema de inovação dos Estados Unidos caracteriza-se pela vastidão e uma grande diversificação por atores, setores e político-administrativa (sistemas público federal, estadual, privado empresarial, universitário e de defesa). Também pelo forte direcionamento e valorização do investimento em ciência e tecnologia, por indução e liderança do governo federal, como estímulo à liderança global em áreas críticas como a militar e defesa nacional, energia, aeroespacial e segurança interna. Em linhas gerais, a estratégia emprega diversas agências orientadas por missão e desafios, para financiar, influenciar e repercutir as agendas de P,D&I nas empresas de alta tecnologia, em setores estratégicos e de maior impacto econômico⁶². Na área de Materiais Avançados, destaca-se uma forte interface com a indústria avançada de base digital, observando-se diversas políticas públicas e iniciativas privadas para fortalecer seu papel essencial no aumento da competitividade e liderança norte-americana na crescente competição global pelas fronteiras científicas e tecnológicas⁶³. O país busca novas descobertas de multifuncionalizações em diversos materiais de interesse, para o aumento da vida útil de bens de capital, redução de custos e o desenvolvimento de novos materiais de referência com o aumento de performance em propriedades e características químicas, físicas, mecânica, eletromagnéticas e biológicas. Um documento de referência do governo federal norte-americano com efeito direto na política de Materiais Avançados foi publicado em outubro

⁶¹ (BRICS STI Framework Programme (brics-sti.org))

⁶² Understanding the US national innovation system, 2020. ITIF, November 2020. Disponível <https://itif.org/publications/2020/11/02/understanding-us-national-innovation-system-2020>. Acesso 08.09.21. Clean and Competitive: Opportunities for U.S. Manufacturing Leadership in the Global-Low Carbon Economy, ITIF. Disponível <https://itif.org/publications/2021/06/21/clean-and-competitive-opportunities-us-manufacturing-leadership-global-low>. Acesso 08.09.21.

⁶³ (<https://itif.org/issues/competitiveness> -- <https://itif.org/publications/2021/06/17/why-united-states-needs-national-advanced-industry-and-technology-agency>)

de 2018 pelo comitê de tecnologia do conselho nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC) do escritório de Ciência e Tecnologia da Casa Branca “Estratégia para a liderança americana em manufatura avançada”⁶⁴. Ciência, Tecnologia e Inovação na área de Materiais é um dos motores da proposta do novo Plano Nacional para a Infraestrutura e Indústria Avançada, enviado ao Congresso no fim de fevereiro de 2021 por meio de uma nova lei federal para a competitividade e investimento de base tecnológica estimado em US\$325 bilhões em uma década⁶⁵. Em meados de junho de 2021 o Senado aprovou o “*American Innovation and R&D Competitiveness Act of 2021 - USICA*”, com investimento total ainda incerto em contínuo debate, em setembro de 2021, estimado em US\$110 bilhões nos próximos 5 anos⁶⁶.

REINO UNIDO: Em julho de 2021 o governo do Reino Unido lançou uma nova estratégia de inovação para reforçar as capacidades científicas e de investigação após a saída do bloco da União Europeia (EU). Com este plano o governo ambiciona reforçar uma posição do Reino Unido como líder mundial em ciência, pesquisa e inovação, e para tanto o país deverá aumentar o investimento público anual em P&D para £22 bilhões de libras esterlinas, e expandir o investimento total público e privado em P&D em relação ao PIB (PPP) dos atuais 1,83%, em 2020, para 2,4%, até 2027, contando com a atração de investimento estrangeiro. O Plano tenta capitalizar e ampliar a escala dos rápidos resultados científicos e tecnológicos para as ciências da vida mais especificamente nos campos da genômica e desenvolvimento e fabricação de vacinas alcançados pelo ecossistema de CT&I do país durante a pandemia Covid-19. Mesmo saindo da UE, considerando-se o caráter crescentemente colaborativo dos grandes temas da pesquisa global de ponta, o Reino Unido, pela sua tradição, continua com acesso ao Programa Quadro “*Horizon Europe 2021-2027*” e conta com essa aliança para a melhora de sua condição de competir internacionalmente. A exemplo de uma tendência atualmente adotada nas economias centrais, esta estratégia estabelece missões de pesquisa para acelerar as descobertas científicas e estimular as inovações em sete áreas tecnológicas específicas, onde o Reino Unido possui capacidade industrial e de P&D&I globalmente competitiva para transformar a economia no futuro - Materiais Avançados e Manufatura; Inteligência Artificial; Computação Digital e Avançada; Bioinformática e Genômica; Bioengenharia; Eletrônica e Fotônica Avançadas e Quântica; Tecnologias para energias limpas e meio ambiente; Robótica e Máquinas Inteligentes. Todas, como já demonstrado, dependentes do desenvolvimento dos Materiais Avançados para “*a construção das bases para as novas indústrias de amanhã*”, nas palavras do secretário de negócios do país,

⁶⁴ <https://trumpwhitehouse.archives.gov/wp-content/uploads/2018/10/Advanced-Manufacturing-Strategic-Plan-2018.pdf>

⁶⁵ Biden revela plano histórico de investimento de US\$325 em pesquisa e inovação. Disponível: <https://sciencebusiness.net/news/biden-unveils-historic-325b-research-and-innovation-plan>. Acesso 10.09.2021.

⁶⁶ <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/1304/text>

reforçadas pelo presidente da Academia Real de Engenharia e a Confederação da Indústria Britânica⁶⁷. O plano britânico atribui a coordenação destas “missões de inovação” a um novo Conselho Nacional e Tecnológico. De particular interesse para um maior e especializado dinamismo na relação econômica bilateral Brasil-Reino Unido, por meio dos Materiais Avançados, cabe destacar o programa britânico de financiamento verde para projetos em infraestrutura sustentável. Segundo o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID, 2018) projeto de infraestrutura sustentável é todo aquele *“planejado, projetado, construído, operado e descomissionado de forma a garantir a sustentabilidade econômica e financeira, social, ambiental - incluindo resiliência climática - e institucional durante todo seu ciclo de vida”*. O estudo de referência “Oportunidades de Investimento em Infraestrutura Sustentável no Brasil”, publicado em setembro de 2020 pelo Programa Brasileiro do Reino Unido para as Finanças Verdes, estimou em R\$3,6 a 3,8 trilhões de reais os investimentos potenciais no período 2020 a 2040 nos setores de Infraestrutura de energia de baixo carbono; Iluminação pública eficiente; Saneamento; Resíduos sólidos; Transporte urbano limpo; Telecomunicações; Portos e hidrovias; Ferrovias⁶⁸. Sabe-se que o Reino Unido enfrenta o desafio de especializar suas soluções em parcerias de investimento e relações econômicas baseadas em conhecimento e inovação no contexto pós-brexit. Portanto, considerando seus condicionantes, este programa sugere uma atenção diferenciada no governo brasileiro, no sentido de gerar e acelerar benefícios essenciais aos possíveis parceiros.

REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA: A força e a competitividade do setor industrial alemão derivam de sua alta capacidade inovadora, capital humano capacitado e uma eficaz colaboração entre as instituições de PD&I, e as pequenas, médias e grandes empresas em cadeias globais de alto valor. Uma Ciência e Tecnologia de ponta, desenvolvidas em uma moderna infraestrutura multidisciplinar e uma cultura social, política e empresarial alinhadas à inovação, são alguns dos principais pilares da economia alemã que desempenham um papel essencial para o crescimento após a segunda guerra mundial e a reestruturação do País após a reunificação em 1990 com a dissolução da porção oriental comunista. Em Materiais Avançados, o domínio tecnológico ocorre principalmente, nas seguintes instituições: Associação Fraunhofer; Federação Alemã de Associações Industriais de Pesquisa; e Associação Max Planck. Sobre o planejamento estratégico na área, segue menção a programas de destaque em ordem cronológica crescente.

⁶⁷ Estratégia de Inovação do Reino Unido: Liderando o Futuro pela sua Criação (<https://www.gov.uk/government/news/new-plans-to-put-uk-at-front-of-global-innovation-race>).

⁶⁸ (<https://ukbrazilgreenfinanceprogramme.com/>)

Em 2004, o Ministério Federal da Educação e Pesquisa (BMBF) lançou seu programa de inovação em materiais: “Inovação em Materiais para a Indústria e Sociedade (WING)”. Seu objetivo: aumentar a inovação na área de materiais dirigidos à indústria pela pesquisa orientada por missão, e potencializar a utilização de materiais para a superação dos desafios sociais, econômicos e os “grandes desafios alemães” - mobilidade, infraestrutura, saúde e meio ambiente. Observa-se que em sua implementação, o programa WING evolui para introduzir novos setores econômicos emergentes de base tecnológica, e recentemente, uma forte política em “economia verde” de baixo carbono, que valoriza a resiliência e o combate à mudança climática, a economia circular, a bioeconomia, a saúde, a energia renovável e limpa, a robótica avançada, e a inteligência artificial. Em novembro de 2011, foi publicada uma contribuição importante da Federação das Indústrias Alemãs (BDI) para a evolução da política de Materiais Avançados, em “Alemanha 2030: Perspectivas Futuras para a Criação de Valor”⁶⁹. Em dezembro de 2013, o BMBF lançou o programa de P&D em “Materiais e matérias primas de importância econômica estratégica para a manufatura Alemã de alta tecnologia” com orçamento previsto de €200 milhões (duzentos milhões de euros) no período de 5 a 10 anos.

Em setembro de 2018, o BMBF lança a “Estratégia 2025 para as Tecnologias Avançadas” como principal diretriz da política de pesquisa e inovação, buscando aumentar o investimento anual em P&D de 2,9% do PIB para 3,5%, até 2025 (High-Tech Strategy 2025 - BMBF). Em fevereiro de 2019, o Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia (BMFI) lança sua “Estratégia Industrial 2030: Diretrizes para uma política industrial alemã e europeia”⁷⁰. Em agosto de 2019, outro documento de referência para a evolução do planejamento do país na área de Materiais, encontra-se no relatório, publicado, pelo Ministério do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) “Oportunidades e riscos dos Materiais Avançados: Resumo das discussões do diálogo de especialistas em Materiais Avançados”. Em julho de 2020, de interesse dos Materiais Avançados e focado no setor químico, foi publicado o documento da agência ambiental federal “Materiais Avançados: Panorama da área e critérios para a avaliação de relevância”⁷¹. Como destaque mais recente inclui-se o esforço do governo federal alemão em acelerar as alianças industriais para o rápido desenvolvimento de uma capacidade tecnológica autônoma na nova fronteira da economia do hidrogênio.

REINO DOS PAISES BAIXOS: A Pesquisa, o Desenvolvimento e a Inovação em Materiais Avançados nos países baixos estão entre as mais destacadas do mundo.

⁶⁹ (https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/Germany_2030.pdf)

⁷⁰ https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Industry/industrial-strategy-2030.pdf?__blob=publicationFile&v=7.

⁷¹ (<https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/advanced-materials-overview-of-the-field-screening>)

O país apresenta um moderno e eficiente ecossistema cooperativo entre universidades, institutos de pesquisa e tecnologia, indústria e mercado, e o governo vem aprimorado o uso de recursos na implementação da Agenda de Conhecimento e Inovação (KIA). Para esse fim, opera uma sofisticada agenda nacional de PD&I em Ciência dos Materiais focada em temas e tópicos cuidadosamente selecionados, em particular aqueles no topo da cadeia de valor nas Ciências da Vida e Saúde e Agroalimentar, dirigidos aos desafios relevantes para a sociedade a indústria holandesa, nos quais os Países Baixos se destacam e se beneficiam do ecossistema existente. No quesito de desafios sociais, destacam-se: transição energética e sustentabilidade; agricultura, recursos hídricos e alimentos; saúde e bem-estar; segurança; tecnologias habilitadoras chave. As empresas holandesas que se beneficiam direta ou indiretamente da PD&I em Materiais Avançados geram centenas de milhares de empregos e contribuem significativamente para a competitividade da economia do país.

Em 2013, o ecossistema holandês usou como uma referência de planejamento um roadmap para os materiais de alta tecnologia⁷². Em novembro de 2015, a política nacional na área segue estas diretrizes de referência: “Materiais Holandeses: Desafios da Ciência dos Materiais nos Países Baixos – Relatório sob a perspectiva combinada da física, engenharia e química”⁷³. Em dezembro de 2020, verifica-se uma atualização no contexto da Agenda Holandesa de Conhecimento e Inovação (KIA): “Agenda holandesa de Materiais: Acelerando as Tecnologias de Materiais”. O relatório propõe o uso eficaz dos recursos públicos e privados em 9 novos programas de P,D&I em materiais, em forte cooperação com a academia e a indústria, nos seguintes temas centrais (*core themes*): 1. Materiais energéticos; 2. Circularidade de materiais; 3. Materiais eletrônicos; 4. Biomateriais; 5. Materiais de revestimento/filmes; e setores transversais (*cross-overs*): 6. Descoberta de materiais “projetados”, “engenheirados”, “manipulados”, nas escalas atômica, micro, meso e macroscópica, e na estrutura – destaque para metamateriais, materiais extremos, manufatura aditiva; 7. Info-materiais; 8. Fabricação, caracterização e mensuração dos novos materiais; 9) Economia circular – uso eficiente, reuso e reciclagem de materiais escassos. A figura 17, apresenta essa estratégia.

⁷² <https://www.nwo.nl/sites/nwo/files/documents/ROADMAP%20HTM2013.pdf>.

⁷³ https://www.nwo-i.nl/wp-content/uploads/2016/03/dutch-materials-challenges-finale-version-1-12-2015_factual-corrvt160310-325740.pdf

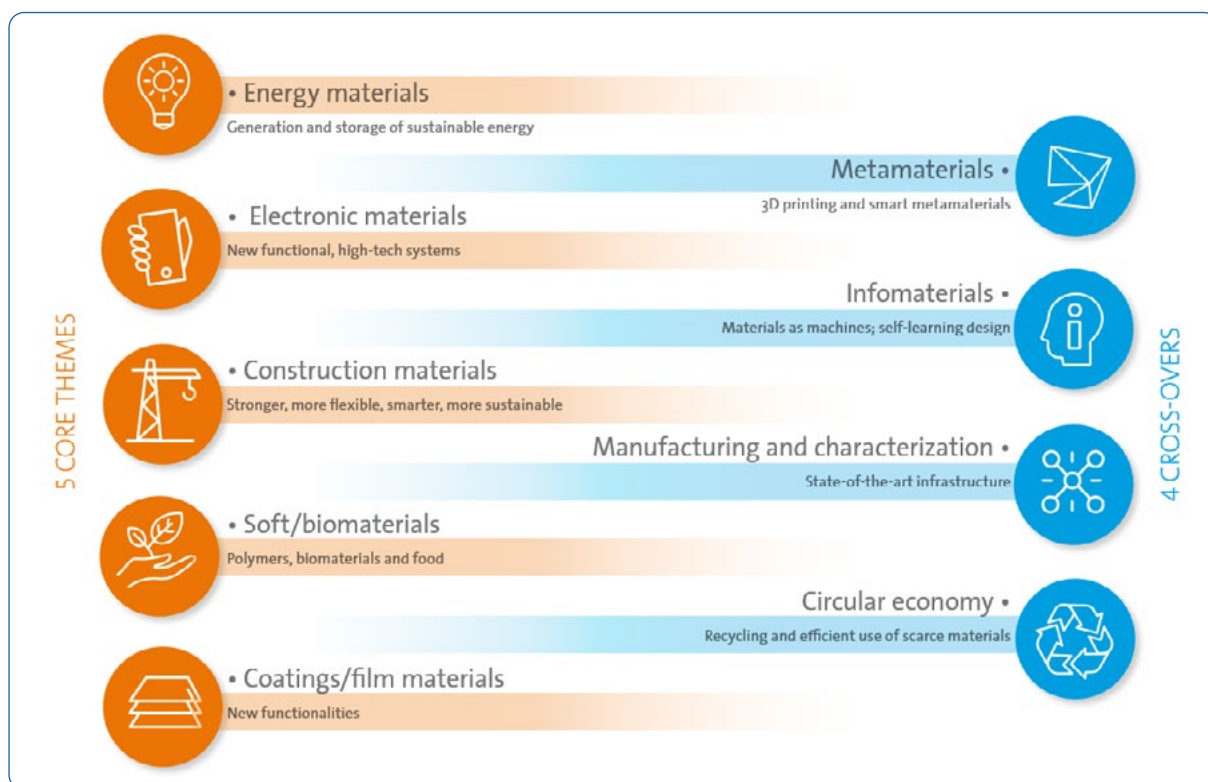


Figura 17: Estratégia dos países baixos em materiais avançados

Entre os documentos mais recentes de referência dos países baixos em Materiais Avançados encontra-se “O potencial das tecnologias emergentes nos países baixos: Análise do impacto potencial dos ecossistemas holandeses de tecnologias extremas (*deep tech*) para determinar a estratégias bem sucedidas”, publicado em junho de 2021, pela plataforma aceleradora Techleap.nl⁷⁴. Desafiado por sua particular condição geográfica e escassez de matéria prima, deve-se destacar que o Reino dos Países Baixos, valoriza, assim como a Alemanha, a economia circular, a bioeconomia, e as ações para a mitigação, resiliência, neutralidade e enfrentamento da mudança climática e liderança digital, reconhecidamente dependentes dos avanços na ciência e tecnologia dos Materiais Avançados.

JAPÃO: O país é um exemplo mundial ímpar de limitada dimensão geográfica, elevada população, recursos naturais escassos, grande vulnerabilidade geológica, climática e meteorológica que, por meio da ciência, tecnologia e inovação, torna-se um expoente em desenvolvimento econômico, geração de riqueza e bem-estar social. A maioria da geração de conhecimento japonês na área de materiais ocorre nas universidades (Ex. Universidade de Tóquio, escola de pós-graduação das ciências de fronteira) transbordada em parcerias com conglomerados corporativos industriais (E.x., Corporação japonesa de Materiais Avançados;

⁷⁴ (<https://www.datocms-assets.com/34494/1624546344-reporttechleap-winning-strategiesbirch-final-public-version-2.pdf>).

Alconix; Fujitsu, Toshiba, Hitachi, Honda, Toyota, etc.,). Três instituições exercem papel importante no desenvolvimento tecnológico na área: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Industrial Avançadas (AIST); Agência Japonesa de Ciência e Tecnologia (JSTA), e o Instituto Nacional de Ciências dos Materiais (NIMS). Em janeiro de 2016, o governo aprovou o 5º Plano Básico de Ciência e Tecnologia (2016-2020), equivalente à nossa Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia (ENCTI). O plano ambiciona a realização de uma sociedade super inteligente (Sociedade 5.0)⁷⁵ por meio da CT&I, e destaca a Nanotecnologia e os Materiais Avançados entre as áreas prioritárias: análise de grandes volumes de dados (*big data*), biotecnologia e inteligência artificial. Como no Brasil, o Japão considera a natureza complementar e inseparável das áreas de materiais e nanotecnologia, que assumem especial dimensão econômica e tecnológica, quando associadas à manufatura e às tecnologias de informação e comunicação (TICs). Relativamente à adoção do Quinto Plano Básico, a “Estratégia Global sobre Ciência, Tecnologia e Inovação 2017” (aprovada em junho de 2017) destaca para a realização da “Sociedade 5.0” uma firme “Iniciativa de Expansão do Investimento Público-Privado em CT&I”, monitorada pela cíclica e clássica estratégia: Planejar, Executar, Avaliar e Agir corretivamente, aperfeiçoar (PDCA)⁷⁶.

Em junho e julho de 2020, em face dos resultados do 5º Plano Básico de 2016, os Ministérios da Economia, Comércio e Indústria (METI) e da Educação, Cultura, Ciência e Tecnologia (MEXI) anunciaram conjuntamente uma atualização da estratégia nacional 2020 para a área de materiais “Estratégias integradas do governo para incrementar o poder da inovação em materiais”⁷⁷. Estas estratégias apoiam-se fortemente no Programa Internacional de Pesquisa Estratégica Colaborativa – SICORP⁷⁸ coordenado pela JSTA. No final de março de 2021, o governo anunciou o 6º Plano Básico de Ciência, Tecnologia e Inovação⁷⁹. Vale mencionar a atenção japonesa em complementar a área de materiais expressa no plano com “uma sociedade baseada em ciclos sustentáveis dos materiais – *sound material-cycle society*”, equivalente à “Economia Circular” adotado no Ocidente. O conceito foi oficializado em 2000 por Lei específica, que determina planos

⁷⁵ Sociedade 5.0: “centrada no ser humano”, sustentável e resiliente pela junção do espaço digital (ciberspaço) e espaço real (físico), usando o poder da ciência, da tecnologia e da inovação para superar desafios e problemas sociais urgentes para um progresso econômico equilibrado por meio de uma forte integração entre o espaço digital (ciberspaço) e o espaço físico” - https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html.

⁷⁶ (Estratégia Integrada de Inovação - https://www8.cao.go.jp/cstp/english/doc/integrated_main.pdf)

⁷⁷ (https://www.meti.go.jp/english/press/2020/0602_003.html , https://www.mext.go.jp/content/20200818-mxt_nanozai-000007028_11.pdf, https://www8.cao.go.jp/cstp/english/strategy_2020.pdf).

⁷⁸ (SICORP (jst.go.jp))

(<https://www8.cao.go.jp/cstp/english/index.html>)

nacionais quinquenais, sendo o mais recente adotado em junho de 2018⁸⁰, com amplo apoio da Federação Japonesa de Negócios - Keidanren⁸¹.

Como destaque final, não há dúvida que a “economia do hidrogênio” é um dos novos setores emergentes baseados em Materiais Avançados com grande aceleração de investimento no Japão. Com essa nova iniciativa o país se posiciona para manter seu reconhecido desempenho global em Pesquisa científica, Desenvolvimento tecnológico, Engenharia e Inovação industrial e negócios competitivos, na fronteira da evolução dos Materiais Avançados.

Em 30 de setembro de 2021, a holding do grupo japonês FUJIFILM anunciou o estabelecimento da Nova Estratégia de Materiais Avançados para acelerar o crescimento dos negócios na área de Materiais Avançados, incluindo semicondutores e materiais para telas (displays avançados). Encaixada em um plano de gestão de médio prazo, VISION2023, a estratégia assume um papel central para a promoção do desenvolvimento de novos negócios baseados nos Materiais Avançados e demonstra a prioridade para a indústria japonesa na inovação de alto valor agregado. A FUJIFILM promove seus negócios para Materiais Avançados em cinco divisões: 1) Negócios de Materiais Eletrônicos para a fabricação de semicondutores de última geração; 2) Negócios de Materiais usados em painéis e displays LCD e OLED; 3) Produtos Industriais para filmes de medição na fabricação e inspeções de qualidade e sensores de telas e painéis sensíveis ao toque; d) Negócios de Química Fina que fornece compostos funcionais e uma ampla variedade de reagentes; 5) Produtos de Mídia de Gravação para o crescimento exponencial de dados digitais⁸².

REPÚBLICA POPULAR DA CHINA (RPC): é um caso notável em escala incomparável, de em 30 anos, um rápido e sofisticado desenvolvimento científico, tecnológico, industrial, econômico e projeção global de poder. O Ministério de Ciência e Tecnologia (MOST) criado em 1959 como Conselho Nacional de Ciência, em 2014, foi reorganizado diretamente subordinado ao Conselho de Estado, encarregado de estabelecer a visão, diretrizes, políticas e estratégias para o desenvolvimento econômico e tecnológico do país. Em 2005, o governo lança o “Programa Nacional de Médio e Longo Prazo para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia (2006-2020) do Conselho de Estado.” Entre suas ambiciosas metas, o Plano prevê, até 2020: i) aumento do dispêndio bruto em P&D (GERD) para ao menos 2,5% do produto interno bruto (PIB); ii) contribuição mínima da C&T na economia de 60%; iii) dependência da tecnologia importada reduzida a menos de

⁸⁰ (https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/4th-f_Plan.pdf)

⁸¹ (<https://www.keidanren.or.jp/en/policy/2020/020.html>)

⁸² (<https://www.fujifilm.com/sg/en/news/hq/7021#>)

30%; iv) patentes de invenção anuais concedidas a cidadãos chineses e citações internacionais em trabalhos científicos entre os 5 primeiros países⁸³. Em comparação aos países desenvolvidos com economias centrais de alta tecnologia, a nova indústria de materiais na China começou mais tarde e modesta. Porém, foi rapidamente acelerada, e de 2008 a 2019 quadruplicou o investimento em P&D na área que recebe o segundo maior volume de recursos da Fundação Nacional de Ciência Natural (NSFC), após as ciências médicas⁸⁴. O 12º Plano Quinquenal (2011-2015) marca o início de uma etapa decisiva no esforço de construir uma base industrial, tecnológica e militar pujante e uma sociedade mais próspera. Desde este 12º Plano Quinquenal, o país aprova documentos políticos para estimular uma implantação abrangente na área de materiais acompanhando) os países desenvolvidos concorrentes (*catching up*). Com esforços continuados, a China tornou-se um forte competidor global no campo dos Materiais Avançados tendo alcançado notável progresso na construção de sistemas sofisticados nas fronteiras das engenharias, tecnologias, escala industrial e ganhos de qualidade e escala, com fortes efeitos na economia e defesa nacional. Uma das apostas chinesas para acelerar a velocidade e eficiência no desenvolvimento de novos materiais é o projeto de engenharia de genômica de materiais (GME), todavia, ainda existem muitos desafios no caminho do desenvolvimento da nova indústria de materiais.

Em maio de 2015, inspirado na iniciativa Alemã da “Indústria 4.0”, o governo lançou o plano “*made in china 2025*” com o objetivo de transformar o país em uma superpotência industrial. O plano elege 10 setores prioritários, incluindo entre os mais tecnologicamente sofisticados: tecnologias da informação de nova geração; máquinas e ferramentas de controle numérico avançado e robótica; tecnologia aeroespacial, incluindo motores de aeronaves e equipamentos aerotransportados; e biofarmacêuticos e equipamentos médicos de alto desempenho. A Figura 18 ilustra esses setores.

⁸³ (https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Documents/National_Strategies_Repository/China_2006.pdf)

⁸⁴ (<https://www.nature.com/collections/ibhfgfdhjb>)



Figura 18: "Made in China 2025" setores-alvo prioritários

Em novembro de 2016, o Conselho de Estado da China, apresenta a estratégia de desenvolvimento para as indústrias emergentes estratégicas por meio do 13º Plano Quinquenal (2016-2020), com amplo destaque para a área de materiais⁸⁵. Uma das características deste Plano é a aceleração do investimento no desenvolvimento de grandes bancos de dados para o desenvolvimento de novos Materiais por meio do Projeto de Engenharia para Genômica de Materiais, à exemplo dos EUA, lançado em 2011. Em setembro de 2020, vários ministérios anunciaram as prioridades para o rápido desenvolvimento de indústrias emergentes estratégicas⁸⁶ altamente dependentes dos Materiais Avançados. Em dezembro de 2017, a Academia Chinesa de Engenharia lançou oficialmente o projeto "*Pesquisa sobre a Estratégia de Energia de Novos Materiais até 2035*" para promover o desenvolvimento e implementação da estratégia de manufatura industrial, focada no desenvolvimento da nova indústria de materiais⁸⁷. O projeto organizou grupos de pesquisa e desenvolvimento em grupos: materiais básicos avançados, materiais estratégicos-chave e novos materiais de ponta, além de focar a caracterização e avaliação de novos materiais e construção de plataformas padrão em áreas-chave. Também detalhou uma estratégia de desenvolvimento de novos materiais para o ano de 2035, para acelerar a capacidade de inovação independente e a competitividade industrial em novos materiais. As principais instituições chinesas de P&DI em materiais são: Universidade de Ciência e Tecnologia de Beijing; Instituto de Cerâmica de Shangai, Academia Chinesa de Ciências; Centro Nacional de Pesquisa em Engenharia de Biomateriais; Laboratório de Cerâmica de Alto

⁸⁵ (<https://cset.georgetown.edu/publication/national-13th-five-year-plan-for-the-development-of-strategic-emerging-industries/>)

⁸⁶ (https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0222_emerging_industry_opinions_EN.pdf)

⁸⁷ (<https://journal.hep.com.cn/sscae/EN/10.15302/J-SSCAE-2020.05.001>)

Desempenho e Microestruturas Superfinas; Centro Nacional de Tecnologia de Engenharia Cerâmica Industrial; Laboratório Chave do Estado de Nova Cerâmica e Processamento Fino; e Instituto de Genômica de Materiais da Universidade de Shanghai.

Vale destacar que, a exemplo dos países e empresas ocidentais com dominância tecnológica que desde o início da revolução industrial criaram as regras e padrões (standards) e dominaram os mercados globais, incluindo royalties, a China está rapidamente intensificando um novo tipo de competição - não sobre superioridade tecnológica - mas, sobre criação de regras de sistemas tecnológicos e de engenharia. As normas e padrões definem a tecnologia e a tecnologia molda o mundo moderno. Depois de estabelecidos, os padrões são muito difíceis de mudar e os países menos avançados não conseguem competir em igualdade com aqueles que criam, aprovam e dominam os padrões que como consequência prática, definem os mercados. Assim, no final de 2020, o governo chinês anunciou seu “Plano de Padrões 2035” para a próxima geração de tecnologias disruptivas, em áreas onde possui vantagens de mercado, tecnologia e aplicações, em particular, blockchain, computação quântica, Inteligência Artificial, Biologia Sintética, Internet das Coisas, automação e tecnologias verdes. Como exemplo, no momento, a empresa Huawei Technologies Co surgiu como líder nos padrões da tecnologia móvel 5G e está à frente dos competidores na próxima geração, 6G. As repercussões e efeitos dessa estratégia de longo prazo irá criar blocos de influência ao redor do planeta, cada, obedecendo padrões técnicos e tecnológicos distintos que controlarão as tecnologias críticas. Se o Plano “*Made in China 2025*” atua na economia real, o de normas e padrões de tecnologias (standards) dizem respeito à influência sistemática para dominância das indústrias e seus mercados⁸⁸.

Nesse contexto de largas ambições, em março de 2021, o Conselho de Estado aprova o 14º Plano Quinquenal (2021-2025), caracterizado pelo imperativo da reestruturação econômica durante o combate à pandemia e as crescentes tensões com o ocidente, em particular os EUA, por meio da estratégia de circulação dual, isto é, refere-se à economia doméstica (interna) e externa (internacional). Resumidamente, as áreas focais são o desenvolvimento sustentável e a liderança tecnológica do país⁸⁹.

A “inovação tecnológica e a autossuficiência em ciência e tecnologia” tornam-se os elementos centrais no 14º Plano, para o país “lograr um desenvolvimento de alta qualidade”, ampliando a influência geopolítica e explorando o potencial de

⁸⁸ <https://www.scmp.com/comment/opinion/article/3134216/china-standards-2035-how-china-plans-win-future-its-own>

⁸⁹ https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0237_5th_Plenum_Proposal_EN-1.pdf.

um mercado interno com uma classe média em ascensão em um contexto internacional de acirramento da competição com os EUA. O Plano, que pela primeira vez contempla um capítulo exclusivo ao tema da tecnologia, demonstra a meta em elevar o dispêndio com P&D em mais de 7% ao ano, representando, em valor absoluto, 2,4% do PIB. Também, aumento do investimento, em pesquisa básica (estimado de 10,6% em 2021), que passaria de 6% para 8%, do total investido em P&D, mas, ainda, abaixo dos 17% dos EUA. A Figura 19, demonstra a alteração hierárquica dos oito primeiros projetos chave de inovação e tecnologia nos 13º e 14º Planos quinquenais, com, respectivamente, 23 e 19 projetos.



Figura 19: Alteração hierárquica de oito projetos chave de inovação e tecnologia nos 13º e 14º Planos quinquenais (ADAPTADO).

Em síntese, o Plano atual (2021-2025) vem complementar e especializar os anteriores e pretende lançar a China à condição de líder em indústrias estratégicas e emergentes. Destaca e reforça o objetivo de assegurar a autossuficiência na pesquisa, desenvolvimento, produção, certificação e comercialização em semicondutores, microchips e outros dispositivos de eletrônica avançada, de uso dual⁹⁰.

REPÚBLICA DA COREIA (COREIA DO SUL): No Índice Global de Inovação de 2020 da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (GII-2020-WIPO-INSEAD), a Coreia do Sul, alcançou pela primeira vez, a 10ª posição, com o primeiro lugar em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e o segundo, em capital humano e tecnologias da informação e comunicação (TICs). Na edição de 2021, entre

⁹⁰ https://www.fujian.gov.cn/english/news/202108/t20210809_5665713.htm - <https://merics.org/en/short-analysis/chinas-14th-five-year-plan-strengthening-domestic-base-become-superpower> - <https://www.newamerica.org/cybersecurity-initiative/digichina/blog/new-chinese-ambitions-strategic-emerging-industries-translated/>

132 analisadas, subiu 5 posições, e agora, é a 5ª economia mais inovadora do planeta e a 1ª entre 17 no leste e sudeste da Ásia e Oceania⁹¹. Em comparação, em relação a 2020, o Brasil melhorou 4 posições e passou ao 57º lugar, no GII-2021. O financiamento público da inovação na Coreia do Sul está descentralizado em vários ministérios governamentais com seus próprios programas de P&D. Os de maior relevância para os Materiais Avançados são: Ministério da Ciência e TICs, Ministério do Comércio, Indústria e Energia, Ministério das PME e das Empresas nascentes (startups) e o Ministério da Saúde e Bem-Estar. Segundo a Associação Coreana de Produtores de Máquinas Ferramentas (KMTI *Fueling the Benefits of Creative Economy*, 2015, KOMMA), até 2020, o governo pretendia investir cerca de US\$ 4,7 bilhões nas áreas prioritárias para o crescimento futuro, com retorno em exportações dessas novas indústrias atingindo US\$ 100 bilhões, até 2024. Valor previsto de investimento por domínio (Wons): KR² 77,2 bilhões para a IoT, KR² 70 bilhões para robôs inteligentes, KR² 98,3 bilhões para equipamentos inteligentes portáteis, KR² 77,1 bilhões para comunicação móvel 5G, KR² 28,2 bilhões para carros inteligentes e KR² 60,8 bilhões para semicondutores inteligentes ⁹².

Segue um breve retrospecto histórico evolutivo da política de P&D sul coreana. A primeira política pública coordenada para promoção da P&D ocorreu em 1972 com a “Lei de Promoção do Desenvolvimento Tecnológico”, na qual o papel do governo limitava-se em organizar a pesquisa nacional para apoiar o aprendizado tecnológico de interesse da indústria e o financiamento da pesquisa e desenvolvimento nas universidades. Vem daí os primórdios de uma política voltada para materiais, apoiada em garantias e financiamento acessível para incentivar as compras da manufatura local (conteúdo local, no Brasil). Em setembro de 1999, o governo lançou uma iniciativa estratégica de longo prazo que viria originar a Lei-Marco de Ciência e Tecnologia, para a promoção e planejamento do desenvolvimento de longo prazo aprovada em 2002. Trata-se da “Visão de longo prazo para o desenvolvimento de C&T rumo a 2025 (Visão 2025)” com uma série de 40 iniciativas e 20 recomendações divididas em 3 períodos de 8 anos, orientando a transição, até 2025, a uma economia inovadora, avançada e próspera pelo progresso da CT&I.

Para o desenvolvimento da Ciência, Tecnologia e Inovação, incluindo a área de materiais, de acordo com o Instituto Coreano para o Progresso da Tecnologia (KIAT) estabelecido em maio de 2009, o primeiro Plano Básico foi lançado em 2001, e desde então avança continuamente em série. O primeiro, entre 2001 e 2008, apresentou uma visão para tornar o país um centro de fornecimento em materiais e componentes de uso geral, aumentando a produção interna para re-

⁹¹ (https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2021/kr.pdf)

⁹² (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377433/PDF/377433eng.pdf.multi.page=684>).

dução dos déficits comerciais. Seguiu-se um segundo Plano Básico (2008-2013), que visava tornar, até 2012, o país tecnologicamente reconhecido entre as principais nações avançadas na área de materiais. A partir de 2010, a crise financeira global e o rápido aumento da autossuficiência da China, reduzem as exportações da Coreia do Sul, componente vital de sua dinâmica e crescentemente competitiva economia. O governo ajustou a estratégia para criar novas oportunidades em tecnologias portadoras de futuro e realinhar as capacidades produtivas e tecnológicas para manter-se competitivo globalmente. Basicamente, a estratégia consistiu em apoiar novas indústrias e especializar as estabelecidas, com uma mudança substancial de foco da produção de massa e baixo valor agregado para uma manufatura tecnologicamente sofisticada e de alto valor.

Em 2012, após concluir a fase de reforço das capacidades, o foco foi deslocado para o desenvolvimento orientado ao futuro dos materiais de vanguarda reforçados no terceiro e quarto Planos Básicos. Em 2013, o terceiro Plano Básico (2013-2017)⁹³ busca aumentar as capacidades tecnológicas e melhorar a posição internacional para, até 2020, o país se posicionar entre os quatro primeiros no desenvolvimento de Materiais Avançados. Em janeiro de 2018, no contexto do quarto Plano Básico (2018-2022) lançado oficialmente em fevereiro de 2018, o governo lançou a estratégia conjunta “Crescimento Inovador”, elaborada por seis órgãos⁹⁴ apresentando suas políticas para a promoção do desenvolvimento tecnológico, estímulo a uma economia criativa e um crescimento inovador, e posicionar o país no topo dos exportadores em Materiais Avançados⁹⁵. As novas políticas delineadas na estratégia conjunta foram desenvolvidas considerando uma crescente preocupação que várias regulamentações em curso irão restringir a expansão e a utilização de novas tecnologias na Coreia, o que poderia limitar o crescimento econômico do país no longo prazo. O quarto Plano anuncia investimento de KRW\$ 9,023 bilhões de won - US\$7,607 bilhões - em 5 anos (2018 a 2022), em 13 setores selecionados, introduzindo estratégias individuais e personalizadas, articulados em 4 grupos principais: **a) Infraestrutura inteligente** - Big data, Inteligência artificial (IA), Redes 5G e Internet das Coisas (“IoT”); **b) Transporte inteligente** - Veículos autônomos, Drones; **c) Serviços combinados** - Saúde e medicina inteligentes e personalizadas, Cidades inteligentes, Realidade aumentada/virtual, Robôs inteligentes; **d) Suporte industrial** - Semicondutores inteligentes, Materiais Avançados, Medicina inovadora, Energia nova e renovável. As estratégias personalizadas incluem suporte do governo à comercialização antecipada nos estágios iniciais e o desenvolvimento de tecnologia original nos

⁹³ - <https://stip.oecd.org/stip/policy-initiatives/2017%2Fdata%2FpolicyInitiatives%2F4902>

⁹⁴ Ministérios de Estratégia e Finanças; de Ciência e TICs; do Comércio, Indústria e Energia; do Território, Infra-estrutura e Transportes; Comissão de Serviços Financeiros e o Escritório de Coordenação de Políticas Governamentais.

⁹⁵ (<https://stip.oecd.org/stip/policy-initiatives/2017%2Fdata%2FpolicyInitiatives%2F14693>)

setores de veículos autônomos, big data, saúde personalizada, cidades inteligentes, realidade aumentada/virtual, energia nova e renovável, robôs inteligentes e drones. Ao mesmo tempo, apoio ao desenvolvimento de tecnologia original em redes 5G, IoT, Materiais Avançados, semicondutores inteligentes, medicina inovadora e setores da inteligência artificial.

Os Materiais Avançados são o quarto maior setor em valor de investimento, após “atenção e cuidados inteligentes em saúde (1º lugar)”, “medicina avançada e inovadora (2º lugar)” e energias renováveis (3º lugar). A área de materiais irá receber, de forma exclusiva, KRW\$ 688 milhões (US\$ 580 milhões, 7,63% do total). Cabe destacar que pela grande transversalidade que a torna essencial aos demais setores, os materiais, por agregação, irão receber investimento superiores. A Figura 20, ilustra os 13 setores e os respectivos investimentos planejados em KRW\$ Wons no período (2018-2022).

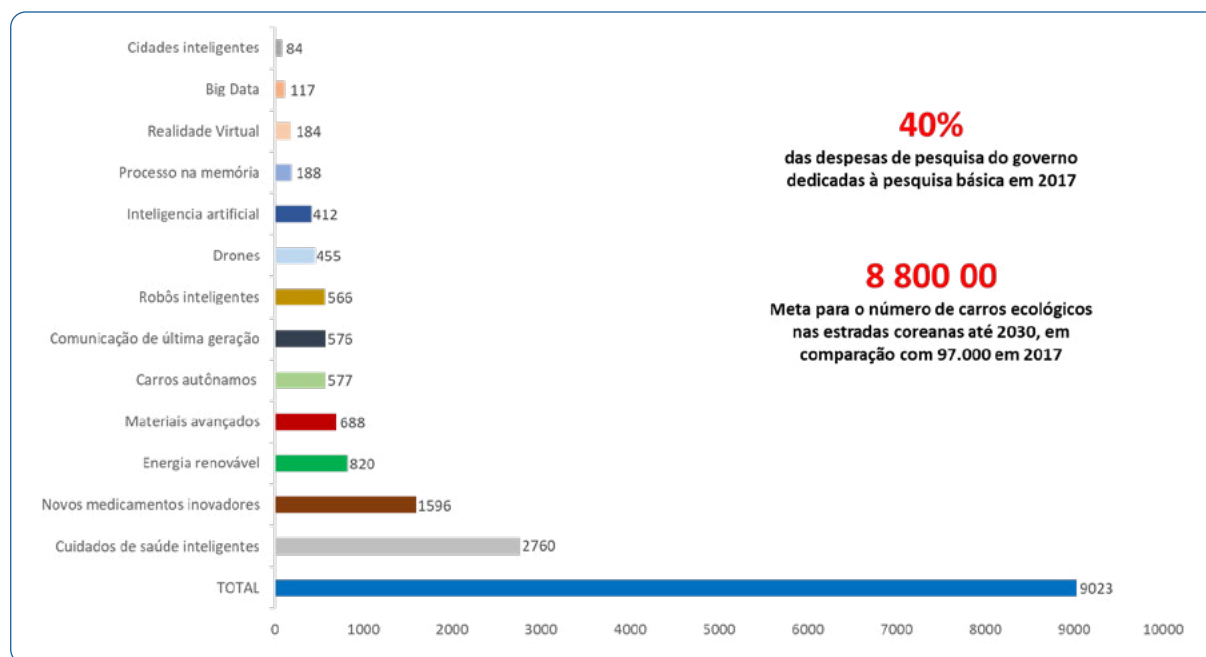


Figura 20: Coreia do sul, quarto plano básico de C&T, áreas selecionadas e valores dos investimentos

Fonte: UNESCO, Relatório de Ciências 2021, pag. 687 (ADAPTADO) - <https://www.unesco.org/reports/science/2021/en/republic-of-korea>

Para realizar os objetivos estratégicos nos setores do Plano, entre outras estratégias, o governo ampliou um programa de empréstimos especiais às empresas, incluindo as Pequenas, Médias e Grandes, para incentivar o desenvolvimento de materiais conforme as necessidades futuras. Também, acelerado pelas lições da pandemia, o desenvolvimento, fortalecimento e especialização de redes na ca-

deia de suprimento para aumentar a independência de importações e apoiar as necessidades da indústria de materiais no futuro⁹⁶.

Em 2019, segundo o Banco Mundial, a Coreia investiu em P&D cerca de US\$ 78,15 bilhões, dos quais, 40% pelo setor público, equivalente a 4,53% do PIB nominal (US\$1,725 trilhões)⁹⁷. Portanto, aumentar o investimento quantitativo em ciência e tecnologia não é mais tão crucial quanto antes, mas, uma especialização refinada da educação, inovação e investimento em pesquisa e desenvolvimento para expandir o capital humano altamente qualificado e produtivo, e prover bem-estar a uma população que envelhece. Na matriz econômica coreana o setor de serviços responde por cerca de 59% do PIB, a indústria 38% e a agricultura, 3%. Em 2021, a despeito dos graves efeitos da pandemia iniciada em 2020, que retraiu o PIB coreano em 9,45%, segundo o Fundo Monetário Internacional, a economia deve crescer 4,3% e permanecer como a 10ª maior mundial à frente do Brasil, que disputa com a Austrália a 12ª posição.

PORTUGAL: Segundo a Fundação de Ciência e Tecnologia de Portugal, em 2013, a Ciência e Engenharia de Materiais mobilizou 3% do dispêndio do país em P&D, a 8ª maior entre as áreas científicas (FCT, 2013). À medida que Portugal intensifica sua inserção internacional, a gradual especialização científica e industrial nos vários ramos da engenharia/ciência dos materiais, cria várias oportunidades para a exploração de significativas economias de escala, e sinergias, como transferência de conhecimento, e sofisticação dos negócios pela inovação considerando a interdependência entre as especializações científica, tecnológica e econômica.

A estratégia geral recente do Estado Português para a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (2014 – 2020) que engloba a emergente área de Materiais, manifesta-se na “Estratégia Nacional de Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente – ENEI&I” uma cooperação do Ministério da Economia e o Ministério da Educação e Ciência, aprovada formalmente dezembro de 2014⁹⁸. A estratégia é parte do Acordo de Parceria (para o desenvolvimento econômico, social e territorial do Estado Português pela especialização inteligente (VISÃO Portugal-2020), formalizado com a Comissão Europeia com investimento dos Fundos Estruturais e de Investimento Europeus, com os pilares fundamentais e desafios estruturantes exibidos na Figura 21.

⁹⁶ <https://stip.oecd.org/stip/countries/SouthKorea> - <https://www.innovationpolicyplatform.org/www.innovationpolicyplatform.org/content/korea/index.html>

⁹⁷ - <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=KR>

⁹⁸ (https://www.fct.pt/esp_inteligente/index.phtml.pt).

Economia Digital	Portugal país de ciência e de criatividade	Intensificar a capacidade tecnológica da Indústria	Valorizar os recursos endógenos diferenciadores
<ul style="list-style-type: none"> • Portugal como ator europeu em TIC 	<ul style="list-style-type: none"> • Explorar a capacidade existente em Energia, Biotecnologia e Saúde • Estimular as indústrias culturais e criativas • Valorizar a Identidade nacional e o Turismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Reforçar a intensificação tecnológica da indústria • Inserção nas cadeias de valor internacionais • Exploração da capacidade existente em novos materiais • Desenvolvimento das capacidades em Automóvel, Aeronáutica e Espaço e em Transportes e Logística 	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de produtos inovadores de elevado valor-acrescentado e eco sustentados • Economia do Mar, Floresta, Recursos Minerais e do Agroalimentar

Figura 21: Pilares fundamentais da visão Portugal 2020 de especialização inteligente

Fonte: Fundação para a Ciência e a Tecnologia (ADAPTADO) - https://www.fct.pt/esp_inteligente/index.phtml.pt

A ENEI 2014-2020 é o principal instrumento de orientação estratégica para Portugal realizar a visão ambiciosa de tornar-se mais intensivo em conhecimento, competitivo, criativo e internacionalizado, orientado a uma economia baseada em produtos e serviços comercializados no país e no exterior, com um papel determinante no reforço e sinergia das capacidades e competências do Sistema Nacional de Pesquisa e Inovação. Alinha-se à política de Crescimento Inteligente, Sustentável e Inclusivo da Estratégia Europa 2020, com previsão de alocar a Portugal, até 2020, cerca de €25 bilhões de euros, dos quais, mais de €1,0 bilhão de euros para a Ciência, Tecnologia e Inovação. A ENEI, com o lema “inovar: proteger e comercializar o conhecimento”, identificou cinco Objetivos Estruturantes e cinco Eixos Temáticos que agrupam 15 Prioridades Estratégicas Inteligentes⁹⁹, onde o país identifica vantagens competitivas reais ou potenciais¹⁰⁰. As Prioridades Estratégicas Inteligentes apresentadas na ENEI se desenvolvem pela articulação das políticas públicas (POLICY-MIX) com medidas e instrumentos que permitem orientar e coordenar a ação pública e privada e um plano de ação, monitoramento e avaliação da Estratégia e da Governança¹⁰¹.

⁹⁹ **Eixo I: TECNOLOGIAS TRANSVERSAIS E SUAS APLICAÇÕES** (Energia, Tecnologias de Informação e Comunicação, Matérias-primas e Materiais); **Eixo II: INDÚSTRIAS E TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO** (Tecnologias de Produção e Indústrias de produto, Tecnologias de Produção e Indústrias de processo); **Eixo III: MOBILIDADE, ESPAÇO E LOGÍSTICA** (Automóvel, Aeronáutica e Espaço, Transportes, Mobilidade e Logística); **Eixo IV: RECURSOS NATURAIS E AMBIENTE** (Agroalimentar, Floresta, Economia do Mar, Água e Ambiente); **Eixo V: SAÚDE, BEM-ESTAR E TERRITÓRIO** (Saúde, Turismo, Indústrias Culturais e Criativas e Habitat).

¹⁰⁰ (<https://www.fct.pt/suporte-politicas-leD/estrategia2020/prioridadesestrategicas>)

¹⁰¹ (https://www.portugal2020.pt/sites/default/files/enei_versao_final_0.pdf)

No espaço europeu, as “matérias primas” são muito valorizadas pela Comissão Europeia que afirma: “*mais de 30 milhões de empregos no continente dependem de sua disponibilidade*”¹⁰². O governo europeu tem uma forte política pública para as matérias primas, atualizada em setembro de 2020, focada na “*segurança de fornecimento e sustentabilidade de matérias primas críticas para tecnologias estratégicas*” devido às fragilidades demonstradas na pandemia¹⁰³.

Em Portugal, a área de Materiais Avançados agrega-se à de “matérias primas”, inserida na ENEI 2014-2020 de forma direta, no eixo temático I - tecnologias transversais e suas aplicações, juntamente com Energia e Tecnologias de Informação e Comunicação. A figura 22, apresenta o resumo da estratégia portuguesa para Materiais Avançados.

Eixo 1 - Matérias-Primas e Materiais	
Visão	<p>Portugal, país com uma ótima utilização de seus recursos minerais, garantindo um aprovisionamento sustentável e responsável, baseado em tecnologias eco-eficientes.</p> <p>Ter liderança em produtos com base em materiais compósitos e novos materiais, explorando igualmente aplicações em indústrias tradicionais e intensivas em tecnologia e conhecimento.</p>
Características	<p>Sector das indústrias extrativas em renascimento com a valorização sustentável das matérias-primas. Matérias primas de base para sectores dominantes em que Portugal tem especialização económica, nomeadamente na pasta de papel e papel, produtos petrolíferos, cerâmica, cortiça, têxteis e calçado. Sector de bio-combustíveis emergente.</p>

¹⁰² (https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/policy-strategy_en)

¹⁰³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_154

Eixo 1 - Matérias-Primas e Materiais**Vantagens Competitivas**

Existência de recursos minerais de grande diversidade geológico-mineira na plataforma continental com potencial económico, desde quartzo, feldspato, lítio, cobre, zinco, tungsténio, antimónio, berílio, germânio, ferro, ouro, prata, volfrâmio, estanho, índio, elementos das terras raras, elementos do Grupo de Platina e caulino, utilizados nas indústrias de cerâmica, vidro, cimento, produção de papel, automóvel, aeroespacial e eletrônica, às rochas ornamentais (mármore, calcários e granitos).

Existência de recursos minerais (cobre, zinco, ouro, cobalto, outros metais) e de hidratos de metano no fundo do mar.

Resíduos mineiros e metalúrgicos acumulados suscetíveis de conter metais preciosos e outros metais com valor económico.

Potencial de exploração em profundidade (abaixo de 500m) com recurso a novas tecnologias, tanto do subsolo terrestre como no subsolo marinho.

Eficiente exploração e uso de matérias-primas com recurso a novos processos eco-eficientes e de reengenharia de processos produtivos.

Inserção em Políticas Públicas

Estratégia Nacional para os Recursos Geológicos – Recursos Minerais.

Potencial de Inovação

Potencial de inovação decorrente das ações de *clusterização* desenvolvidas, nomeadamente *Clusters Habitat Sustentável* e *Pedra Natural*.

Potencial de exploração do vasto conhecimento científico e tecnológico de materiais para o desenvolvimento de novos produtos.

Novos materiais compósitos e nano.

Novas aplicações de materiais existentes, nomeadamente a setores de indústria tradicionais.

Eixo 1 - Matérias-Primas e Materiais	
Tópicos	Desenvolvimento de Tecnologias Inovadoras para Recursos Minerais Sustentáveis (Utilização de Novos Materiais; Processamento de Minérios e Minerais; Tecnologias Ecoinovadoras; Recursos Minerais Escassos; Materiais para tecnologias energéticas pouco intensivas em carbono)
	Produção Sustentável de Matérias-primas e Materiais Derivados da Floresta (Pasta de Papel; Madeira; Cortiça; Redução de Resíduos e Aproveitamento de Biomassa; Monitorização Ambiental; Reutilização de Resíduos)
	Aplicação de Tecnologias Avançadas Matérias-primas e Materiais (Eficiência de Recursos através da Aplicação das TICs; Novos Materiais)
	Aplicação de Novos Materiais às Indústrias Tradicionais.
	Uso Eficiente, Seguro e Sustentável da Produção Industrial de Recursos (Alternativas para Matérias-primas Críticas; Eficiência na Exploração e Uso de matérias-primas; Exploração de Matérias-primas na Terra e no Mar; Exploração de Terras Raras).

Figura 22: Quadro resumo da estratégia ENEI 2014-2020 em Materiais Avançados

Em uma linha evolutiva de incentivo para o desenvolvimento da área de Materiais Avançados, em janeiro de 2017, o governo lançou a estratégia “**Indústria 4.0**”, com investimento previsto de até €4,5 bilhões de euros em 4 anos (2017-2021). Trata-se de um conjunto de 60 medidas públicas e privadas para impactar mais de 50.000 empresas e requalificar e formar mais de 20.000 trabalhadores em competências digitais¹⁰⁴. Em outubro de 2020 o governo lança o “*Recuperar Portugal, Construindo o futuro: Plano de Recuperação e Resiliência (PRR)*” para apoiar projetos transformadores, mobilizadores da inovação empresarial voltada aos temas de futuro nas transições digital, climática e energética, com investimento total, de 2021 a 2027, estimado em €16.644 bilhões de euros, €13.944 bilhões em subvenções¹⁰⁵, dos quais, pelo menos €1,386 bilhões diretamente para projetos científicos e tecnológicos para gerar valor no mercado global envolvendo Materiais Avançados. Súmula e valores estimados das principais iniciativas:

- Agendas/Alianças mobilizadoras para a Inovação Empresarial (€558 milhões)
- Agendas/ Alianças Verdes para a Inovação Empresarial (€372 milhões)

¹⁰⁴ (<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc21/comunicacao/noticia?i=20170130-mecon-industria-4>)

¹⁰⁵ (<https://recuperarportugal.gov.pt/>)

- Missão Interface - renovação da rede de apoio científico e tecnológico e orientação para o ecossistema produtivo (€186 milhões)
- Agenda de pesquisa e inovação para a sustentabilidade da agricultura, alimentação e agroindústria (Agenda de Inovação para a Agricultura 2030 - €93 milhões)
- Desenvolvimento do “Cluster do Mar dos Açores” (€32 milhões)
- Biomateriais (materiais de base biológica) Bioeconomia (€145 milhões)

O Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia (INL) sediado em Braga é uma das principais ICTs de Pesquisa e Inovação em Materiais Avançados no país que conta ainda com dois Laboratórios Colaborativos (CoLABs) para aplicações específicas de Materiais Avançados, entre os 26 CoLABs existentes. Outro Programa de destaque em materiais ocorre em parceria com a Universidade do Texas em Austin, lançada em 2007 e renovada em 2018, até 2030. Após 14 anos de colaboração a UT Austin e as instituições portuguesas desenvolvem uma próspera agenda de pesquisa, alinhada com a estratégia do país nas diferentes áreas científicas e tecnológicas. O Programa envolve a Fundação Portuguesa de Ciência e Tecnologia (FCT) e a Universidade do Texas em Austin (UT Austin), apoiado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e o Conselho de Reitores das Universidades Portuguesas (CRUP).

Em junho de 2021, a pedido do governo português, o INL sediou o encontro “*A Cadeia de Valor das Baterias Sustentáveis - Valorizar a capacidade nacional de industrialização, de inovação e de investigação em Materiais Avançados e baterias*” com a participação do Primeiro-Ministro e dos Ministros de Estado da Economia e da Transição Digital, da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, do Ambiente e da Ação Climática, e do Secretário de Estado Adjunto e da Energia. Segundo o governo, Portugal foi “o primeiro país do mundo a assumir o compromisso de atingir a neutralidade de carbono, em 2050”, objetivo, hoje, do bloco europeu. Ao promover a cadeia de valor de Baterias Sustentáveis como uma oportunidade de desenvolvimento econômico, social e científico aproveitando as capacidades nacionais de pesquisa, inovação e desenvolvimento industrial, Portugal acelera agendas mobilizadoras para a inovação empresarial e assume um papel importante na estratégia ambiental europeia¹⁰⁶.

Em 11 de outubro de 2021 o governo português apresentou ao congresso sua proposta orçamentária para o ano de 2022 (OE2022), a ser votada em dois tur-

¹⁰⁶ (<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/noticia?i=portugal-tem-de-apostar-nas-tecnologias-de-ponta-do-futuro>)

nos, 27 de outubro e 25 de novembro de 2021¹⁰⁷. O valor de €3,125 bilhões de euros na dotação da despesa total consolidada para ciência, tecnologia e ensino superior representa um aumento de 21,2% sobre a execução estimada em 2021), €621 milhões de euros para a Fundação de Ciência e Tecnologia (FCT). De interesse direto da área de Materiais Avançados cabe destacar no orçamento, o reforço da estratégia “Portugal Espaço 2030” para valorizar a participação do país na Agência Espacial Europeia (ESA), em atividades públicas e privadas de Observação da Terra em alta resolução¹⁰⁸. Indicadores sobre o sistema português de Ciência, Tecnologia, inovação e Ensino Superior podem ser obtidos em (<https://www.dgeec.mec.pt/np4/19/>).

CINGAPURA: As áreas de manufatura e engenharia avançadas são os principais pilares da globalizada economia da ilha-Estado de Cingapura, que, ao conquistar sua independência em 1965, gradualmente se transformou em um dos principais atores na Pesquisa, Desenvolvimento, Manufatura e Inovação, empregando Tecnologias e Materiais Avançados. Essa trajetória de P&D começou em 1991, com a criação do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia, e o lançamento do primeiro Plano Nacional de Tecnologia de cinco anos, para desenvolver atividades de alta tecnologia que dinamizassem a cadeia de valor econômico e construir uma forte base de cientistas, engenheiros e tecnólogos para acelerar a indispensável soberania e transformação econômica e empresarial. Estes planos são atualizados a cada cinco anos ambicionando posicionar Cingapura como uma economia baseada na inovação e no conhecimento. Em 2010, a estratégia de P&D foi expandida para especializar o tripé “*Pesquisa, Inovação e Empreendimento* (RIE – *Research, Innovation and Enterprise*)” que no período 2011 a 2015 (RIE-2015), comprometeu SGD\$16,0 bilhões de dólares de Cingapura (US\$ 11,87 bilhões dólares americanos).

Na última década as principais universidades de Cingapura subiram nos rankings globais e melhoraram sua influência na pesquisa internacional. Em 2015, o ranking anual das Universidades Mundiais classificou a Universidade Nacional de Cingapura (NUS) e a Universidade Tecnológica de Nanyang (NTU) respectivamente, na 12ª e 13ª posições, (22ª e 39ª posições no ano anterior). O Instituto de Pesquisa e Engenharia de Materiais (IMRE) é coordenado pelo Conselho de Pesquisa Científica e Engenharia (SERC) da Agência para Ciência, Tecnologia e Pesquisa (A*STAR) é o principal instituto de pesquisa em ciência e engenharia de materiais de Singapura. Estabelecido em setembro de 1997, possui equipes multidisciplinares globais e instalações de última geração, com forte competência reconhecida mundialmente para realizar pesquisa científica e desenvolvimento

¹⁰⁷ (<https://www.parlamento.pt/ActividadeParlamentar/Paginas/DetailIniciativa.aspx?BID=121193>)

¹⁰⁸ <https://oe2022.gov.pt/areas-governativas/ciencia-tecnologia-e-ensino-superior/>

em materiais que geram alto valor econômico para o país, em materiais poliméricos e orgânicos, materiais compostos e estruturais, caracterização e fabricação de Materiais Avançados, ótica e eletrônica avançadas e outras áreas tecnológicas críticas, que geram a novos produtos comerciais. Conta também com dois laboratórios associados: A*STAR - Laboratório Avançado de Composto Químico SCG, e A*STAR - Laboratório de Info-Tecnologia Molecular ChemoPower. A Figura 23, apresenta seus departamentos de pesquisa.



Figura 23: Departamentos de Pesquisa do Instituto de Pesquisa e Engenharia de Materiais de Cingapura (IMRE)

Fonte: <https://www.a-star.edu.sg/>

As várias áreas de Pesquisa e Desenvolvimento na área de Materiais abrangem, de forma não exaustiva:

- Materiais Avançados Sustentáveis
- Materiais Macios (Polímeros, espumas, semissólidos, solventes, moléculas orgânicas e biológicas que exibem propriedades intermediárias ente líquidos e sólidos e cujo desempenho e funcionalidades dependem do tempo).
- Compósitos Poliméricos
- Materiais Estruturais
- Tecnologias Óticas Avançadas
- Materiais Eletrônicos

- Laboratório Nanobiológico - NanoBio Lab
- Caracterização e Instrumentação Avançadas
- Nanofabricação
- Tecnologias Quânticas para as Engenharias

A Universidade Nacional de Singapura (NUS) é a principal IES para a área por meio de seu Centro de Materiais Avançados e Estruturas¹⁰⁹, em forte parceria com a indústria por meio do Laboratório Corporativo para Aplicações em Materiais Avançados¹¹⁰, ao lado da Universidade Tecnológica Nanyang que possui uma Escola de Ciência dos Materiais e Engenharia¹¹¹ e um Centro de Materiais Avançados¹¹².

Em janeiro de 2016, por meio da Fundação Nacional de Pesquisa vinculada ao gabinete do primeiro Ministro, o governo aprovou o sexto plano de ciência e tecnologia (RIE-2020), com investimento de SGD\$ 19 bilhões de dólares de Cingapura (US\$ 14,10 bilhões dólares americanos) em pesquisa, inovação e empreendedorismo¹¹³. Intitulado “Conquistando o Futuro por Meio da Ciência e Tecnologia”, o plano reforça o compromisso de levar Cingapura ao próximo estágio de desenvolvimento¹¹⁴. Em outubro de 2017, no contexto da atualização da RIE-2020, a Agência de Ciência, Tecnologia e Pesquisa submete seu relatório de recomendações para o futuro da manufatura avançada, como o plano estratégico para o setor. Destaca o imperativo das tecnologias digitais inteligentes (Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Aprendizagem de Máquinas e Análise de Grandes Quantidades de Dados) para integrarem em uma combinação eficaz, as operações de produção e as atividades comerciais¹¹⁵.

Basicamente, os sucessivos planos nacionais para a pesquisa, desenvolvimento e inovação voltados ao desenvolvimento econômico dependentes dos Materiais Avançados, procuram elevar a soberania e a prosperidade em quatro DOMÍNIOS TECNOLÓGICOS ESTRATÉGICOS, nos quais o país apresenta vantagens competitivas e/ou desafios e necessidades importantes, buscando maximizar o financiamento e os impactos, a saber:

¹⁰⁹ (<https://www.eng.nus.edu.sg/cee/research/research-centres/centre-for-advanced-materials-and-structures/>)

¹¹⁰ <https://amat.nus.edu.sg/>

¹¹¹ (<https://www.ntu.edu.sg/mse>)

¹¹² <https://www.ntu.edu.sg/temasek-labs/research-focus/research-areas/centre-of-advance-material>

¹¹³ ([https://www.a-star.edu.sg/docs/librariesprovider1/default-document-library/research/funding-opportunities/ame-programmatic-funds/ame-rie2020-programmatic-\(updated-2018-06-09\)_1.pdf](https://www.a-star.edu.sg/docs/librariesprovider1/default-document-library/research/funding-opportunities/ame-programmatic-funds/ame-rie2020-programmatic-(updated-2018-06-09)_1.pdf))

¹¹⁴ <https://www.mti.gov.sg/-/media/MTI/Resources/Publications/Research-Innovation-and-Enterprise-RIE-2020/RIE2020.pdf>

¹¹⁵ (<https://www.a-star.edu.sg/docs/librariesprovider1/default-document-library/news-events/publications/report-on-fom-initiative.pdf>)

- Fabricação e Engenharia Avançada (AME)
- Saúde e Ciências Biomédicas (HBMS)
- Soluções Urbanas e Sustentabilidade (USS)
- Serviços e Economia Digital (SDE)

As atividades nesses domínios tecnológicos são apoiadas por programas transversais de incentivo à excelência científica, capital humano altamente qualificado e criação de valor. Estes programas se distribuem em três eixos horizontais: *Pesquisa Acadêmica; Formação, Treinamento e Qualificação de Capital Humano Especializado; e Inovação nas Empresas*, para incentivar os parceiros industriais a colaborar com a pesquisa pública em áreas de grande interesse da indústria, utilizando as tecnologias mais modernas e impactantes.

Algumas técnicas de manufatura avançada usadas para desenvolver novos mercados, novas tecnologias e novos produtos incluem a fabricação de aditivos, como a impressão 3D, sistemas de impressão a laser, modelagem de deposição fundida e outros processos que criam montagens altamente complexas a partir de um material contínuo. Materiais Avançados e compostos - como ligas de alta resistência, plásticos recicláveis, cerâmica avançada e vidro - associados com a nanotecnologia que produz materiais e dispositivos na escala de átomos e moléculas, estão revolucionando uma nova linha de produtos, de dispositivos microeletrônicos a polímeros fabricados pelo homem. A robótica e a automação já são normais nas indústrias de automóveis, aeroespacial e de bens de consumo, e com seu avanço, aumenta a capacidade de implementar sistemas automatizados mais complexos em mais setores, mesmo com algumas dessas tecnologias inteligentes, processos e produtos avançados de fabricação desenvolvidos há décadas. Segundo a Federação Internacional de Robótica, em 2019, Cingapura alcançou a liderança mundial em densidade de robôs instalados por 10.000 funcionários na indústria de manufatura, com 918 unidades, acompanhado da Coreia do Sul.

Em dezembro de 2020, reconhecendo os últimos 30 anos de investimento em CT&I como essenciais para o progresso alcançado, o governo lançou o Plano (RIE-2025) pelo qual sustentará os investimentos em pesquisa, inovação e empreendedorismo em 1% do PIB no período 2021-2025, ou cerca de US\$ 25 bilhões de dólares americanos, como compromisso de longo prazo com a P&D para impulsionar os ciclos econômicos. O Plano almeja lograr novas capacidades ou plataformas nacionais reunindo a academia, as empresas e o governo para enfrentar os desafios globais e aproveitar as novas oportunidades usando Ciência &

Tecnologia (C&T), para a construção de uma nação inteligente, segura e sustentável com dinamismo econômico, benefícios e qualidade de vida à população¹¹⁶.

Domínios tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais dos investimentos no RIE-2025, desenvolvidos nos três eixos horizontais:

- **Manufatura, Comércio e Conectividade**, expandidas além dos setores industriais para aumentar as capacidades no comércio e na conectividade em setores econômicos (aviação, transporte marítimo, logística e comércio atacadista, etc.,).
- **Saúde Humana e Potencial**, expandida para incluir o potencial humano focado na melhoria do desenvolvimento durante a gravidez e primeira infância, aumentando os resultados da aprendizagem e fomentando a saúde e uma longevidade saudável.
- **Soluções Urbanas e Sustentabilidade**, enfrentar novos desafios em sustentabilidade e resiliência, incluindo a mudança climática, descarbonização, cidades saudáveis e transformação do ambiente construído.
- **Nação Inteligente e Economia Digital**, desenvolver capacidades de preparar a população para oportunidades no espaço digital e transformar as empresas, ampliar as vantagens nas tecnologias estratégicas, melhorar a resiliência e tornar o país um parceiro confiável em inovação digital. A figura 24, exibe a estrutura do RIE-2025, e a Figura 25, a distribuição do orçamento pelo portfólio.

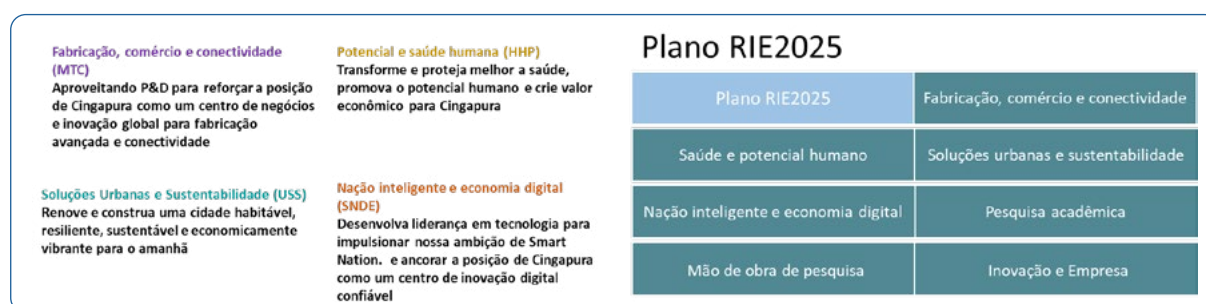


Figura 24: Estrutura do RIE-2025 (ADAPTADO).

Fonte: <https://www.nrf.gov.sg/rie2025-plan>

¹¹⁶ (<https://www.nrf.gov.sg/rie2025-plan>)

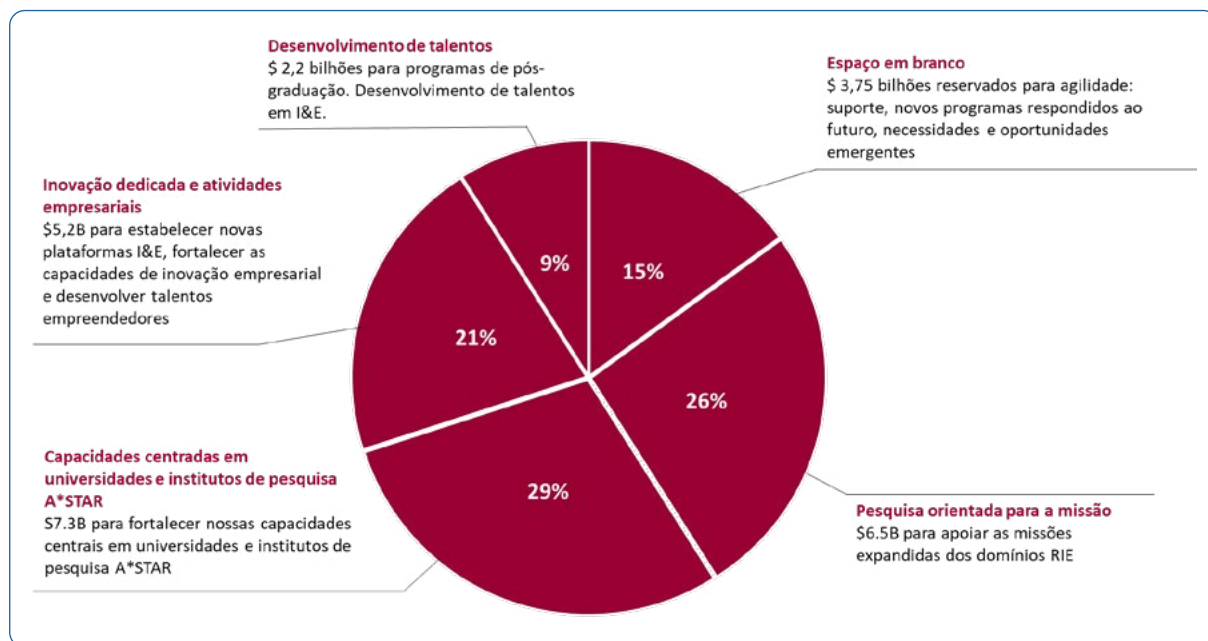


Figura 25: Distribuição percentual e absoluta do orçamento pelos domínios e horizontais do Plano RIE-2025

Fonte: <https://www.nrf.gov.sg/rie2025-plan> (ADAPTADO).

Com uma forte infraestrutura digital e a maior renda per-capita dos 10 países do bloco da Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN - Indonésia, Malásia, Filipinas, Tailândia, Brunei, Vietnã, Mianmar, Laos, Camboja), Cingapura está atraindo atenção para seu crescentemente sofisticado ecossistema de manufatura de alto nível, em particular nos segmentos de eletrônica avançada e engenharia de precisão, como elos centrais nas cadeias de suprimento especializadas para as indústrias aeroespacial e farmacêutica. Com os fortes impactos da pandemia e escassez de materiais e suprimentos críticos, o país está em uma corrida para ampliar sua base de fabricação de semicondutores avançados de última geração (micro e nano processadores, chips e outros componentes eletrônicos) e se beneficiar deste negócio vital dominado por Taiwan, EUA, Coreia do Sul, Japão, e um forte crescimento recente da China. Segundo consultorias especializadas, em agosto de 2021, 9 empresas criadas em Cingapura levaram, em média, 6 anos e 11 meses (4º no ranking global, atrás apenas da China, Hong-Kong e Japão) para atingir a classificação de “unicórnios” (startups que atingem valor de mercado igual ou superior a US\$1,0 bilhão). Uma delas, *Nanofilm Technologies International* (NTI) surgiu como spin-off de tecnologias em Materiais Avançados da Universidade Tecnológica de Nanyang. A NTI opera três unidades principais de negócios: Materiais Avançados, nanofabricação e equipamentos industriais. As duas primeiras, focadas em filmes e películas avançadas (*coating*) de carbono resistentes ao desgaste e abrasão para uso final automotivo, aeronáutico, smartphones, semicondutores, computadores estão se posicionando para atender as

tendências crescentes da digitalização, Internet das coisas e implementação das redes 5G. A NTI tem uma posição única na indústria de Materiais Avançados e soluções de superfície com sua tecnologia patenteada de Arco Catódico Filtrado a Vácuo (FCVA) e FCVA Híbrido, que resolve problemas complexos de engenharia em comparação às tecnologias e materiais convencionais de revestimento¹¹⁷.

Com contínuo compromisso com a pesquisa, inovação e empreendedorismo para superar os desafios nacionais, Cingapura conquistou destaque na área de Materiais Avançados e segue construindo capacidade de inovação nas empresas para gerar resultados que impulsionam o crescimento econômico, por meio da Ciência e da Tecnologia.

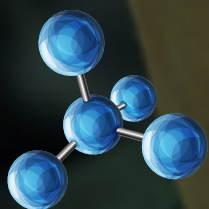
¹¹⁷ (<https://www.straitstimes.com/business/companies-markets/singapore-ranked-joint-4th-best-economy-for-how-fast-start-ups-become>)

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

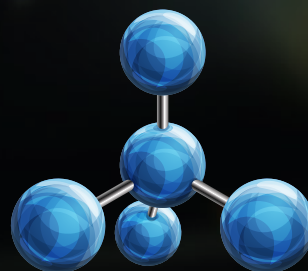
2022

gov.br/mcti



SÚMULA: ESTRATÉGIAS GLOBAIS EM PD&I EM MATERIAIS AVANÇADOS E A INDÚSTRIA DE MANUFATURA

3



3. SÚMULA: ESTRATÉGIAS GLOBAIS EM PD&I EM MATERIAIS AVANÇADOS E A INDÚSTRIA DE MANUFATURA

Os Materiais Avançados são essenciais para a indústria global de manufatura, incluindo o setor da construção, e crescem rapidamente em funcionalidades, escala e valor. Em 2019, segundo o Banco Mundial e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)¹¹⁸, a indústria de manufatura global (excluindo a construção) atingiu um valor total estimado em US\$13,74 trilhões de dólares norte-americanos (14,48% do PIB mundial). No mesmo ano, em escala global, estima-se que, apenas a área de materiais, movimentou um mercado de US\$ 2,82 trilhões de dólares (20,52% de toda indústria), distribuído basicamente em um padrão competitivo de três níveis, onde cada país apresenta vantagens próprias na Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação industrial, Certificação, Regulamentação e Comercialização. O primeiro, abrange países e regiões desenvolvidas, inclui EUA, Japão e Europa com vantagens econômicas, tecnológicas, alta capacidade de P&D e de formação e participação nos mercados. O segundo, inclui Coreia do Sul, China e Rússia, com novas indústrias de materiais em rápido desenvolvimento. A terceira, inclui o Brasil e a Índia.

Em uma perspectiva global, verifica-se uma intensificação na influência e monopólio por governos e grandes empresas multinacionais na nova indústria de materiais. Isso ocorre por vantagens na pesquisa e desenvolvimento tecnológico, que incluem grande disponibilidade de infraestrutura moderna, capital financeiro, sofisticação no ambiente de negócios de base tecnológica, talento humano capacitado e acesso a mercados novos ou incumbentes. Entre as estratégias de manutenção e expansão das posições dominantes em produtos de alta tecnologia empregando Materiais Avançados, incluem-se acordos de patentes, novos padrões tecnológicos internacionais e barreiras à alta tecnologia de desenvol-

¹¹⁸ <https://data.worldbank.org/indicator/NV.IND.TOTL.ZS> - <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/manufacturing-output> - <https://data.oecd.org/industry/industrial-production.htm>.

vimento, produ  o, caracteriza  o, certifica  o, comercializa  o em materiais, cada vez mais frequentes. O Brasil está alerta às novas tendências e forças globais na área de materiais, e este plano de CT&I de Materiais Avançados pode contribuir para o país se posicionar adequadamente diante do enorme desafio. Especificamente, na área de materiais, articular com a política nacional de inova  o para o aprimoramento do planejamento, implementa  o e avalia  o dos processos e instrumentos necessários para o aumento da soberania tecnológica da competitividade nacional nos campos econ  mico e do bem-estar social.

A análise de casos que configuram a natureza, o impacto e o apoio às políticas das plataformas de colabora  o em Materiais Avançados identifica três tendências-chave surgidas nas duas últimas décadas e para as quais o Brasil precisa seguir atento. A primeira tendência    a convergência, que se refere    plataforma onde vários interesses e competências da comunidade de pesquisa e desenvolvimento se reúnem e convergem. A segunda tendência trata da crescente importância das plataformas e suas interse  o  es com a sociedade. A terceira demonstra que a rápida corrida global pela digitaliza  o da economia afeta muitos aspectos do planejamento e funcionamento das plataformas de colabora  o para a PD&I em Materiais Avançados. Em 2011, a Alemanha iniciou o conceito "Indústria 4.0" conhecido como o Quarta Revolu  o Industrial. Em 2014, a Core  ia do Sul introduz a Inova  o da Indústria de Manufatura na Iniciativa de Economia Criativa, seguida, em 2016, pelo Programa de Promo  o de Maquin  ria Inteligente de Taiwan. Há anos Cingapura acelera a digitaliza  o e a inova  o por meio de estratégias como o Go Digital, e fortalecimento de institui  o  es governamentais como a Agência para a Ciência, Tecnologia e Pesquisa, para atender tanto pequenas e m  dias empresas locais quanto as de maior porte. Em 2015, a China anunciou seu plano "Made-in-China", quatro anos após os EUA fundarem o Subcomit   de Manufatura Avançada do Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia, para planejar e coordenar os programas e atividades federais de pesquisa e desenvolvimento de manufatura avançada, e pelo desenvolvimento e atualiza  o de um plano estratégico nacional quadrienal de manufatura avançada.

Como demonstrado, a evolu  o dos desafios globais a partir de 2020, acrescentaram um senso de urgência às políticas nacionais em Materiais Avançados. As crescentes tens  o  es comerciais, tecnológicas e geopolíticas, levaram ao redirecionamento de prioridades em PD&I e a diversifica  o das cadeias de abastecimento devido    pandemia de Covid-19 visando uma maior autonomia das na  o  es. Considerando que as principais corpora  o  es globais se tornaram mais abertas, ao menos para testar novas tecnologias e ideias inovadoras, a emergente área de Materiais Avançados se tornou um elo insubstituível na cadeia de valor global da

Pesquisa, Desenvolvimento, Inovação, Fabricação e Comercialização de tecnologias críticas e avançadas.

De forma resumida, esta seção buscou demonstrar que o objetivo superior das políticas públicas, estratégias e apoio institucional dos planos apresentados, visa reduzir e fechar brechas tecnológicas das empresas na área de Materiais Avançados. Em adição, permitir que as empresas nacionais criem e tenham acesso a oportunidades de negócios de maior valor encaixadas nas cadeias de suprimento global das corporações transnacionais para acelerar o uso dos Materiais Avançados nas soluções de manufatura e serviços à sociedade.

3.1 OBJETIVOS – MATERIAIS AVANÇADOS

3.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL – MATERIAIS AVANÇADOS

- Estimular, articular, fomentar, sugerir prioridades e coordenar, harmonizado com o SNCTI, o ecossistema de Materiais Avançados no Brasil, com vistas a aprimorar o ambiente de colaboração entre academia e setor privado e de negócios.
- Estimular a formação, fixação e mobilidade de capital humano especializado, aperfeiçoar os instrumentos de fomento ao empreendedorismo de base tecnológica e impulsionar a inovação tecnológica nas cadeias produtivas nacionais, ampliando e consolidando a base de conhecimento em Materiais Avançados e a comercialização de soluções no mercado.

3.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS – MATERIAIS AVANÇADOS

Os Materiais Avançados, pela característica de transbordamento multidisciplinar, têm transformado significativamente áreas da ciência e da engenharia impactando diretamente o setor produtivo e empresarial, agregando valor tecnológico e proporcionando ganhos de performance e viabilidade econômica. Diante deste dinâmico escopo, instrumentos normativos e objetivos específicos para ação na temática, incluem, de forma não exaustiva:

- **Fortalecimento da Política e Programa Nacional: (Decreto nº 10.746/2021):** Planejar, articular, institucionalizar e fomentar um “Programa Nacional de Desenvolvimento de Materiais Avançados”, objetivando convergir esforços, desenvolver e consolidar a área de Materiais Avançados no Brasil;

- **Especializa  o e Fortalecimento do Programa de Inova  o em Grafeno (Inova-Grafeno-MCTI - Portaria MCTI n   4.964, de 09 de julho de 2021):** Um dos programas estratégicos e estruturantes da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN) para o Grafeno, Material Avançado de alto potencial, e a próxima gera  o dos materiais 2D    base de carbono, nas fronteiras da física, química e engenharia. O Programa tem como objetivo criar, integrar e fortalecer ações governamentais na área, focadas na dinamiza  o econ  mica e especializa  o dos mercados, promovendo a inova  o na indústria brasileira para garantir a autonomia tecnológica em setores de alta tecnologia;
- **Especializa  o e Fortalecimento, de 2021 a 2023, das áreas tecnológicas e setores prioritários para a Pesquisa no âmbito do MCTI - Portaria MCTI n   5.109, de 16 de agosto de 2021.** Alinhar a atua  o ministerial ao Plano Plurianual - PPA 2020-2023 e alcançar os objetivos e metas estabelecidos nos programas finalísticos. Os Materiais Avançados são indispensáveis ao desenvolvimento das 6 áreas tecnológicas e 28 setores priorizados. As áreas tecnológicas distribuem-se em seis categorias: (i) Estratégicas; (ii) Habilitadoras; (iii) Produ  o; (iv) Desenvolvimento Sustentável; (v) Qualidade de Vida; (vi) Promo  o, Populariza  o e Divulga  o da Ciência, Tecnologia e Inova  o. Estas seis áreas tecnológicas se desdobram em 28 setores tecnológicos ¹¹⁹, incluindo a Pesquisa, Desenvolvimento e Inova  o em soluções aplicadas de materiais de origem renovável, da biomassa e a utiliza  o de resíduos de minera  o, e minera  o urbana (metais de alto valor agregado contidos em componentes eletro eletrônicos).
- **Sistematiza  o e Dissemina  o Seleccionada da Informa  o:** Articular e coordenar a elabora  o de uma plataforma digital de desenvolvimento sustentável, contemplando desde o mapeamento e beneficiamento da matéria-prima base até o descarte final do produto (análise de ciclo de vida), incluindo o registro das iniciativas já implementadas no Brasil, rotinas de escalonamento e viabiliza  o tecnológica;
- **Capital Humano:** Estimular a forma  o de recursos humanos especializados na área de Materiais Avançados, unindo o conhecimento clássico com as novas habilidades e competências exigidas pela sociedade atual, como o empreendedorismo e o desenvolvimento sustentável;

¹¹⁹ **Estratégicas:** Espacial; Nuclear; Cibernética; Segurança Pública e de Fronteira. **Habilitadoras:** Inteligência Artificial; Internet das Coisas; Materiais Avançados; Biotecnologia; Nanotecnologia. **Produ  o:** Indústria; Agronegócio; Comunicações; Infraestrutura; Serviços. **Desenvolvimento Sustentável:** Cidades Inteligentes e Sustentáveis; Energias Renováveis; Bioeconomia; Tratamento e Reciclagem de Resíduos Sólidos; Tratamento de Polui  o; Monitoramento, preven  o e recupera  o de desastres naturais e ambientais; Preserva  o Ambiental. **Qualidade de Vida:** Saúde; Saneamento Básico; Segurança Hídrica; Tecnologias Assistivas. **Promo  o, Populariza  o e Divulga  o da Ciência, Tecnologia e Inova  o:** Ensino de Ciências; Educa  o Empreendedora; Comunica  o Social.

- **Empreendedorismo e Startups – Lei Complementar nº 182, de 01 de junho de 2021:** Em vigor a partir de 02 de setembro de 2021, trata-se do marco legal das empresas nascentes voltadas à inovação (startups) e do empreendedorismo inovador. Estimular a criação, operação formal e crescimento de empresas inovadoras de base tecnológica na área de materiais no papel de indutoras e habilitadoras de avanços tecnológicos para a geração de emprego, trabalho e renda no domínio econômico;
- **Interação ICT-Setor Privado:** Fomentar e aprimorar a interação entre a academia, institutos de pesquisa e as empresas, setor produtivo, em especial, nos processos de disseminação e transferência tecnológica, provas de conceito (Produto Mínimo Viável, *Minimum Viable Product* - MVP), formação e capacitação de capital humano específico em materiais e escalonamento (*scale-up*) de tecnologias;
- **Cooperação e Colaboração Internacional:** Fortalecer e aperfeiçoar a colaboração internacional seletiva, mobilizando competências no Brasil e exterior, para uma maior qualificação dos agentes da inovação (organizações e indivíduos), aceleração de iniciativas científicas, internacionalização dos empreendimentos de base tecnológica para aplicação dos Materiais Avançados e a interação especializada entre os setores econômicos;
- **Tecnologias Digitais Aplicadas a Materiais Avançados:** Planejar, articular e implementar um Programa ou Plataforma Nacional Digital para a “Descoberta e Caracterização Inteligente de Novos Materiais (*Materials Informatics*)”, baseada em tecnologias digitais avançadas, visando acelerar o ciclo e reduzir os custos do processo de desenvolvimento tecnológico de novos materiais;
- **Temas Disruptivos:** Incentivar a pesquisa científica de excelência, o desenvolvimento tecnológico e os negócios de inovação em temas com diferenciado potencial disruptivo, como metamateriais, materiais multifuncionais inteligentes, fibras e membranas poliméricas, zeólitas, peneiras moleculares, tecidos artificiais, ligas metálicas, mapeamento geológico marinho, nanomateriais e nanocompósitos, biopolímeros e materiais regenerativos, materiais derivados do grafite (nanotubos de carbono, grafeno e fulerenos), materiais para tecnologia quântica etc.;
- **Consolidação Geográfica do Conhecimento:** Estimular a produção e fixação do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico de excelência em Materiais Avançados, nas regiões do país, visando reduzir assimetrias regionais e agregar valor nas diversas cadeias produtivas locais; e
- **Integração dos Programas:** Articular as ações ministeriais na área de Materiais Avançados com as principais ações estratégicas de outros ministérios e instituições com interesse na temática, tais como os Ministérios da Saúde, Minas e Energia e Infraestrutura e agências vinculadas.

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

gov.br/mcti

IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DE CT&I DE MATERIAIS AVANÇADOS

4

4. IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DE CT&I DE MATERIAIS AVANÇADOS

Visando alcançar os objetivos nacionais na área de Materiais Avançados, as ações planejadas e executadas na temática receberão apoio sistemático e contínuo do MCTI, incluindo, a supervisão, o acompanhamento e a revisão periódica do esforço ministerial para articular os programas, projetos e iniciativas dos atores do SNCTI na área de materiais. Seguem, as principais ações propostas:

AÇÃO 1 IMPLEMENTAÇÃO DA “POLÍTICA NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS AVANÇADOS”

A Política, institucionalizada pelo Decreto nº 10.574/2021, será operacionalizada pela integração dos seguintes dispositivos normativos: i) Portaria MCTI nº 5.109/2021 (Prioridades P,D&I 2021-2023); ii) Portaria MCTI nº 4.964/2021 (InovaGrafeno); iii) Decreto nº 10.095/2019 do Comitê Consultivo em Nanotecnologia e Novos Materiais; iv) Política Nacional de Inovação (PNI - Decreto nº 10.534/2020); e, v) Estratégia Nacional de Inovação (ENI - Resolução Câmara de Inovação CI nº 1/2021. A Política visa apoiar a pesquisa, a inovação, o desenvolvimento sustentável, a certificação, a utilização e a comercialização dos materiais estratégicos (minérios, biodiversidade, biomassa, metamateriais e outros) de seus produtos e soluções. A mesma proporciona ao SNCTI uma orientação estratégica em consonância à Política Nacional de Inovação (PNI) e a Estratégia Nacional de inovação (ENI), convergindo esforços e instrumentos para potencializar os investimentos e seus impactos, instituindo um espaço de coordenação estratégica para a Política. Essencialmente, a Política de C,TI de Materiais Avançados irá endereçar processos, ações e instrumentos, em diferentes níveis de maturidade para a produção de produtos e soluções de alto valor agregado. A Figura 26, exibe uma representação dos níveis de maturidade idealizados para a Política Nacional de Desenvolvimento de Materiais Avançados, com ênfase para os ei-

xos horizontais da pesquisa científica, a formação, capacitação e mobilidade de capital humano especializado, o desenvolvimento tecnológico e o fomento a processos produtivos em plantas e arranjos industriais.

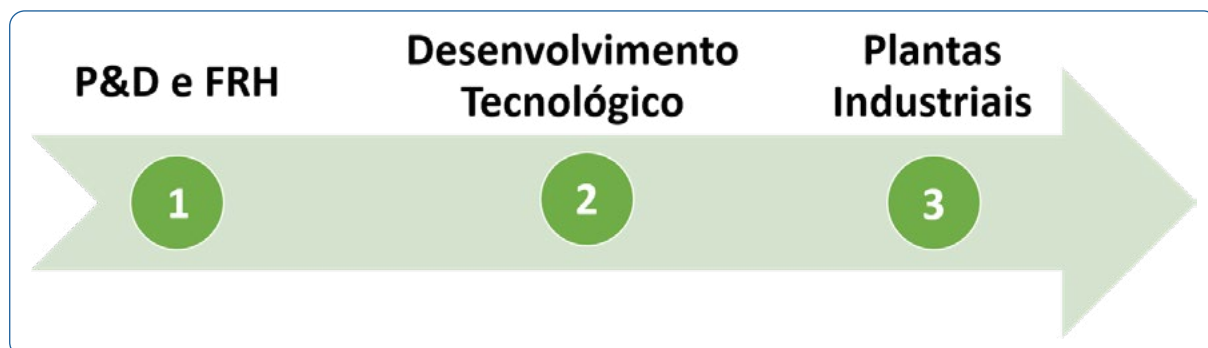


Figura 26. Representação dos principais níveis de maturidade para a Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados.

1. **Nível P&D e Formação, Capacitação e Mobilidade de Capital Humano (FRH):** fortalecimento e especialização com aprimoramento das interações, incluindo a atração, retenção e mobilidade planejada, na formação acadêmica, pesquisa e atuação profissional do capital humano atuante nas ICTs públicas, privadas e nas empresas. Irá desenvolver uma articulação orientada a missões e resultados de mercado (*“business and competitive intelligence”*) em uma Rede Nacional para acelerar o setor produtivo de Materiais Avançados nos Temas Estratégicos deste PCTIMA, com atenção particular à descoberta e caracterização inteligente de novos materiais e Mapeamento Geológico Marinho (*Blue Mining*);
2. **Nível Desenvolvimento Tecnológico:** fomento/financiamento de rotinas associadas a provas de conceito (*Minimum Viable Product* - MVP ou Mínimo Produto Viável) de tecnologias com apoio de ICTs, a implementação de laboratórios-fábrica com a missão de operar e sofisticar processos otimizados, a partir de tecnologias produtivas inovadoras ou encomendas tecnológicas¹²⁰, e a inserção progressiva nas cadeias de valor nacionais de novos conhecimentos, tecnologias e propriedade intelectual produzida por ICTs, empresas e academia;

¹²⁰ DECRETO Nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018, Seção V. Da Encomenda Tecnológica: Art. 27. Os órgãos e as entidades da administração pública poderão contratar diretamente ICT pública ou privada, entidades de direito privado sem fins lucrativos ou empresas, isoladamente ou em consórcio, voltadas para atividades de pesquisa e de reconhecida capacitação tecnológica no setor, com vistas à realização de atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação que envolvam risco tecnológico, para solução de problema técnico específico ou obtenção de produto, serviço ou processo inovador, nos termos do art. 20 da Lei nº 10.973, de 2004, e do inciso XXXI do art. 24 da Lei nº 8.666, de 1993.

3. **Nível Plantas Industriais:** implementação progressiva, empregando as melhores práticas e soluções para assegurar a elevação da competitividade, considerando a cadeia produtiva básica, todavia, buscando a implementação de plantas industriais complementares para outros produtos empregando materiais avançados.

AÇÃO 2 SISTEMATIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Diante dos diversos programas, iniciativas, ações e projetos fomentados na área de Materiais Avançados por vários atores do SNCTI, em particular, os ministérios, agências e fundações de fomento, a Política vem contribuir para organizar a informação e facilitar sua difusão à sociedade considerando as atuais e novas mídias e plataformas de comunicação instantânea e de massa. Seguem as principais orientações para fortalecer a sistematização e difusão:

- **Articular e coordenar a elaboração e manutenção de uma plataforma digital dedicada a área de Materiais Avançados** ou incluir o módulo Materiais Avançados em outras plataformas digitais. A estratégia irá facilitar e acelerar o registro, divulgação e disseminação dos principais programas e resultados da área, instrumentos de fomento, chamadas públicas, oportunidades, além de estimular as ações de desenvolvimento tecnológico, empreendedorismo e inovação na área de Materiais Avançados;
- **Estimular as ações de difusão da informação na área de Materiais Avançados**, por meio de conferências científicas, eventos e atividades de interação entre os atores interessados, estímulo à transferência de conhecimento, formação, capacitação, atração, retenção e mobilidade de capital humano especializado, apoio empreendedorismo de base tecnológica, e demais atividades de difusão de conhecimento da área; e,
- **Promover a utilização de novos tipos de mídia** (redes sociais, simulações, realidade virtual e aumentada, animações, aplicativos, vídeos, áudios, podcast, blogs) para potencializar a difusão da informação, atrair talentos para a ciência e tecnologia, aproximar as políticas públicas da sociedade, facilitar o nivelamento da compreensão das ações na área, a interação e o intercâmbio de conhecimento entre diversos setores da sociedade, e demonstrar a capacidade de geração de resultados e seus efeitos coletivos benéficos.

A Figura 27, a partir do exemplo da Iniciativa Brasileira de nanotecnologia (IBN – Portaria MCTIC nº 3.459/2019), exhibe as principais orientações para fortalecer a sistematização das informações de programas, projetos, iniciativas e resultados

na área de Materiais Avançados, bem como possíveis funcionalidades disponibilizadas por meio de plataforma de serviços tecnológicos.

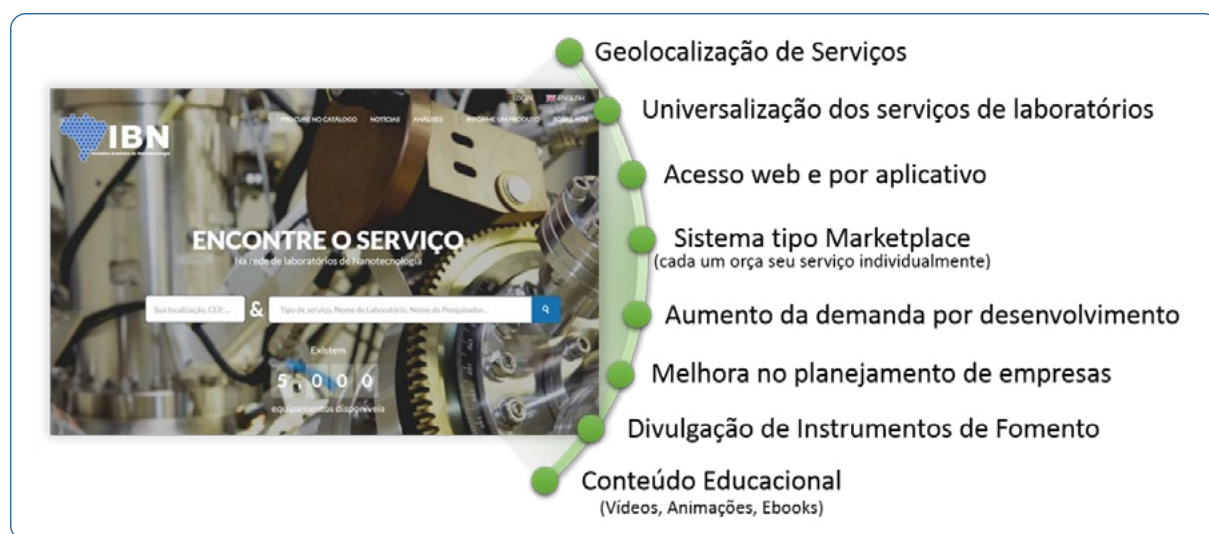


Figura 27. Ilustração das principais orientações para o fortalecimento da sistematização e difusão da informação na área de Materiais Avançados, vinculadas aos programas, às ações, aos projetos e às infraestruturas científico-tecnológica disponíveis.

AÇÃO 3 CAPITAL HUMANO

A formação, capacitação e mobilidade de capital humano especializado para a área de Materiais Avançados têm recebido especial atenção das Políticas Públicas ministeriais, e continuará um dos principais objetivos das novas ações governamentais. Em geral, estes profissionais são absorvidos pela área tecnológico-científica e pelo setor produtivo empresarial devido à qualidade e multidisciplinaridade da sua formação. Contudo, faz-se necessário o incentivo à capacitação em gestão da inovação associada ao empreendedorismo de base tecnológica. A seguir, as principais orientações para o fortalecimento da formação e capacitação de capital humano especializado na área:

- **Lançar novos editais/programas na temática de Materiais Avançados** ou incluí-la em editais/programas coordenados por parceiros estratégicos, para formação, capacitação e mobilidade de capital humano de excelência. Envolve toda a cadeia de valor produtiva e acadêmica de Materiais Avançados, direcionada, em especial, para as áreas de empreendedorismo, capital intelectual, gestão da inovação e transferência tecnológica da academia para o setor produtivo;

- **Promover a articulação e a facilitação da interação do capital humano especializado na área de Materiais Avançados com os setores produtivos nacionais**, com vistas a aumentar a produtividade setorial, demonstrar a capacidade de geração de resultados promovidos pelo conhecimento e a inserção de pesquisadores no ambiente produtivo;
- **Estimular a formação e a capacitação de capital humano direcionado ao empreendedorismo de base tecnológica** e favorecer a criação de novas empresas nacionais com viés tecnológico (*start-ups* e *spin-offs*) em ambientes promotores da inovação (*fintechs*, parques tecnológicos, aceleradoras, incubadoras e laboratórios abertos); e,
- **Criar e incentivar ambientes favoráveis à mobilidade e incorporação de especialistas**, mestres e doutores nas empresas nacionais com vocação tecnológica, visando agregar valor aos processos e soluções da empresa, desenvolver novos produtos e transferir conhecimento tecnológico para o setor privado. A Figura 28 ilustra as principais atividades de pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico e inovação em função do nível de maturidade da tecnologia (*Technology Readiness Level* - TRL).

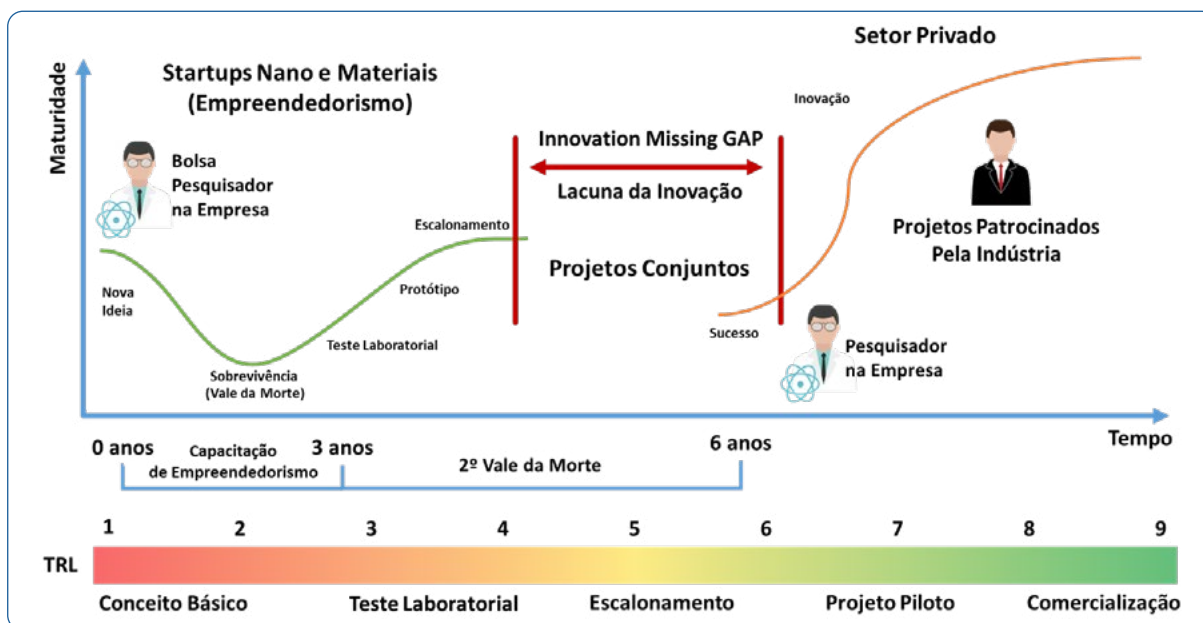


Figura 28. Ilustração das principais temáticas associadas ao fortalecimento da formação e capacitação de capital humano especializado na área de Materiais Avançados, visando a geração de empreendimentos de base tecnológica.

Fonte: Adaptação U.S. Government Accountability Office (GAO), <https://www.gao.gov/>

AÇÃO 4 EMPREENDEDORISMO DE BASE TECNOLÓGICA

O mercado de startups cresce rapidamente em importância no Brasil, e segundo a Associação Brasileira de Startups (Abstartups) nos últimos 5 anos (2016 a 2021), o setor se expandiu em estimados 300%¹²¹. Sua relevância social e econômica para o empreendedorismo e a inovação tornou necessária a organização e a regulamentação do setor. Em 2 de setembro entrou em vigor a Lei Complementar nº 182/2021, de 01 de junho de 2021, denominada “Marco Legal das Startups”, que visa facilitar a criação e desenvolvimento de empresa inovadoras e o empreendedorismo no Brasil. Alguns aspectos positivos: i) Previsão legal do conceito de startup; ii) Facilitação do acesso de startups a licitações públicas; iii) Previsão de criação de ambiente regulatório experimental (*sandbox regulatório*); iv) Flexibilização de algumas regras aplicáveis às sociedades anônimas; v) Maior clareza na definição dos investidores e sócios de startups via arranjos específicos. Todavia, aspectos tributários previstos no projeto de Lei, que trariam benefícios importantes aos investidores, foram descartados no texto final, bem como lacunas nas relações trabalhistas.

As startups poderão receber investimentos de pessoas físicas ou jurídicas, sem necessidade de incluí-las no capital social e na direção. Outra forma de aporte de recursos é por fundos patrimoniais (Lei nº 13.800/2019), fundos de investimento em participações (FIP) nas categorias capital semente, investidor anjo, empresas emergentes e empresas com produção econômica intensiva em pesquisa, desenvolvimento e inovação, programas, concursos ou editais de financiamento, aceleração e escalabilidade de startups. As empresas com obrigação de realizar investimentos em pesquisas e inovação, por força das agências reguladoras, poderão investir em startups, por estes mecanismos. Um aspecto importante da Lei para estímulo ao empreendedorismo inovador, é a concessão de prioridade de análise para pedidos de patente ou de registro de marca no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), pelo portal de simplificação de registro (InovaSimples - REDESIM).

A operação eficaz das sinergias e convergências entre as diretrizes, ações, instrumentos e ferramentas da Política de Materiais Avançados e deste Plano, dirigidas ao estímulo do desenvolvimento da área, são fundamentais para o incentivo, fortalecimento e ampliação dos resultados do empreendedorismo inovador na área. Seguem, as principais orientações para o estímulo à cultura empreendedora e a geração de novos empreendimentos de base tecnológica:

¹²¹ <https://www.abstartups.com.br/diagnostico/>

- **Disseminação da cultura empreendedora no país**, especialmente na área de Materiais Avançados, com vistas a despertar o interesse de uma nova geração de empreendedores, ampliando as possibilidades de criação de novas atividades remuneradas de maior valor agregado;
- **Estimular o desenvolvimento de novas capacidades técnicas**, especialmente para a nova geração de egressos dos cursos de graduação e pós-graduação nacionais, com especial atenção às habilidades interpessoais (*soft skills*) e tecnologias digitais, tais como a inteligência artificial, computação em nuvem e outras;
- **Aumentar a oferta de programas e iniciativas de apoio às startups de base tecnológica**, especialmente na área de Materiais Avançados, objetivando aumentar a oferta de estímulos para este ecossistema e, como consequência, o número de startups e ambientes de inovação no Brasil; e
- **Promover melhorias de mercado (ambiente de negócio)** preferencialmente com condições diferenciadas para empresas de base tecnológica nas áreas que necessitam de intensivo investimento em ciência e tecnologia como, por exemplo, Materiais Avançados, nanotecnologia, fotônica e biotecnologia.

AÇÃO 5 PROMOÇÃO DE AMBIENTES INOVADORES E APROXIMAÇÃO ICT-EMPRESA

O Novo Marco Legal da Inovação (Lei nº 13.243/2016), regulamentado pelo Decreto nº 9.283/2018, reforçou a necessidade e urgência de fortalecer e especializar os ecossistemas inovadores, aperfeiçoando ou criando novos mecanismos de interação Universidade-Empresa, para aproximar as instituições de ciência e tecnologia (ICTs) e o setor privado e a geração de conhecimento, riqueza e desenvolvimento por meio da Ciência, da Tecnologia e da Inovação. Seguem, as principais orientações para o fortalecimento dos ecossistemas de inovação envolvendo as ICTs e as empresas:

- **Fortalecer e ampliar o número de laboratórios públicos e privados** vinculados ao Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO) atuando na área de Materiais, ampliando os recursos investidos e articulando o SisNANO com as demais políticas públicas e privadas em CT&I. Diante da convergência temática, vale fortalecer também e ampliar os laboratórios do Sistema Nacional de Laboratórios de Fotônica (Sisfóton);
- **Estabelecer novos modelos de gestão tecnológica e de negócios para os ecossistemas inovadores na área de Materiais Avançados e domínios tecnológicos convergentes e habilitadores**, fomentar o modelo de Centros de

Inovação em Materiais Avançados (à exemplo do GraNioTer), Nanotecnologia e Consórcios Temáticos de Prospeção e Difusão Tecnológica, capazes de estimular e aprimorar a interação entre academia, governo e empresas geradoras e usuárias de soluções baseadas em Materiais Avançados e nanotecnologias;

- **Lançar editais/programas especializados baseados em missões e desafios, de desenvolvimento tecnológico e inovação em Materiais Avançados** e/ou incluir a temática em editais/programas coordenados por parceiros estratégicos públicos e privados;
- **Ampliar o Programa SibratecNANO** (Rede de Centro de Inovação em Nanomateriais e Nanocompósitos), para estimular a cultura da inovação nas empresas brasileiras visando o desenvolvimento de nanomateriais em produtos, processos e soluções inovadoras;
- **Apoiar o Programa EMBRAPII de interação entre ICTs e empresas**, pelo fortalecimento das unidades EMBRAPII atuantes na área de Materiais Avançados e de Grafeno, com o credenciamento de unidades EMBRAPII em nanoproductos; e,
- **Estimular, especializar e ampliar o financiamento das agências nacionais de fomento** nas interfaces da cadeia de valor produtiva e acadêmica, na concentração de esforços de ICTs, empresas a empresas *B2B* (*Business to Business*) e *B2C* (*Business to Consumer*), para o desenvolvimento tecnológico e a efetiva comercialização e aplicação industrial de Materiais Avançados.

A Figura 29, apresenta uma ilustração das principais etapas associadas à interação entre as instituições de ciência e tecnologia (ICTs) e o setor privado, ponte para inovação, visando fortalecer os ambientes inovadores.

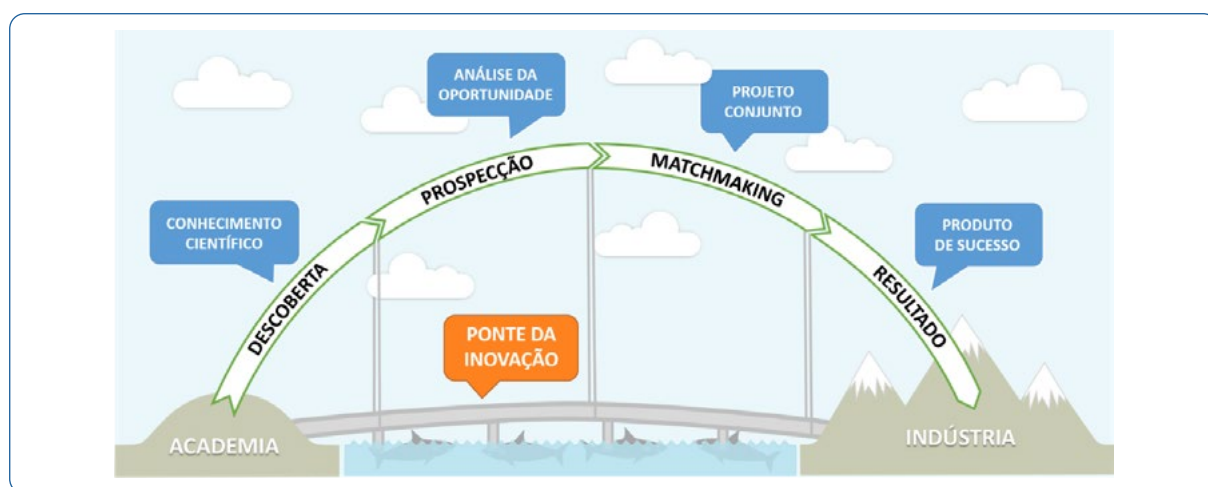


Figura 29. Ilustração das principais temáticas associadas ao fortalecimento dos ambientes inovadores e da interação entre instituições de ciência e tecnologia (ICTs) e o setor privado para a geração de conhecimento e riqueza na área de Materiais Avançados.

AÇÃO 6 INTENSIFICAR A COLABORAÇÃO, COOPERAÇÃO E ALIANÇAS INTERNACIONAIS SELECIONADAS

Programas de cooperação internacional são excelentes vetores para o desenvolvimento tecnológico e a inovação. Ocupam posição importante nas Políticas Públicas brasileiras em CT&I, colaboram para aprimorar e acelerar a base nacional de conhecimento, e, recentemente, conquistaram maior visibilidade segundo as novas práticas de cooperação, colaboração, alianças e parcerias segundo o conceito da “Diplomacia da Inovação”. Seguem as principais orientações para o fortalecimento da Cooperação Internacional:

- **Fortalecer e especializar, por meio de missões e desafios de interesse nacional específico, os acordos bilaterais e multilaterais de cooperação** e compromissos internacionais celebrados pelo Governo Brasileiro com países selecionados, associados aos Materiais Avançados, à Nanotecnologia e aos nanomateriais;
- **Intensificar a atuação e fortalecer Programas de Cooperação Internacional estabelecidos** associados aos Materiais Avançados, à Nanotecnologia e os nanomateriais, alinhadas à política externa do Estado brasileiro. De particular interesse, o Centro Brasil-China de Inovação em Nanotecnologia (CBCIN), Grupo de Trabalho BRICS em Ciências dos Materiais e Nanotecnologia, Centro Brasileiro-Argentina de Nanotecnologia (CBAN), e outros destacados na seção 11.6 deste Plano;
- **Articular programas conjuntos de desenvolvimento tecnológico e inovação**, com vistas a atrair investimentos e parceiros internacionais selecionados para os laboratórios e empresas brasileiras, e incentivar a transferência de conhecimento e tecnologia entre os países e empresas;
- **Estimular o nascimento e suporte a empreendimentos de base tecnológica na área de Materiais Avançados** (startups e spin-offs) que visem, desde a concepção, o mercado internacional, favorecendo a atuação em nichos, a viabilidade do investimento em desenvolvimento tecnológico de alto valor agregado e sustentando modelos de negócio que demandam maior investimento e risco tecnológico, e maior retorno; e,
- **Promover a atuação conjunta e a concentração de esforços entre os países** para o desenvolvimento de agendas de colaboração e cooperação internacional na área de Materiais Avançados dedicadas à superação de desafios sociais dos países, em especial à superação da miséria, pobreza, acesso à água potável, alimentação, saúde, soluções para saneamento básico e infraestrutura, dentre outros.

A Figura 30, ilustra as principais diretrizes e orientações para as atividades de cooperação internacional na área de Materiais Avançados.



Figura 30. Ilustração dos principais conceitos associados ao fortalecimento da cooperação internacional, focada na aceleração do desenvolvimento nacional na área de Materiais Avançados.

AÇÃO 7 TECNOLOGIAS DIGITAIS APLICADAS AOS MATERIAIS AVANÇADOS

Com a evolução rápida e disruptiva das tecnologias digitais em anos recentes (inteligência artificial, biotecnologia e biologia sintética, espaço cibernético, computação de alta performance, computação quântica, análise de grande quantidade de dados - *big data*, internet das coisas, aprendizagem de máquina - *machine learning*) e seu transbordamento na economia e sociedade, surgem a oportunidade, e necessidade, de estruturar ações específicas em tecnologias digitais que acelerem o desenvolvimento, redução de custos e riscos, e maior emprego de Materiais Avançados. A demanda-estratégia, pode aumentar as vantagens competitivas da economia nacional e se beneficiar de elementos já disponíveis (infraestrutura laboratorial, comunidade de Materiais Avançados e de computação científica). A seguir, as principais orientações para o fortalecimento do uso de tecnologias digitais aplicadas ao desenvolvimento da área de Materiais Avançados:

- **Planejar, articular e implementar um Programa ou Plataforma Nacional para a “Descoberta Inteligente de Novos Materiais (*Materials Informatics*)”**, usando tecnologias digitais, visando acelerar e reduzir custos associados ao processo de desenvolvimento tecnológico de novos materiais;
- **Difundir, mobilizar, articular e agregar os parceiros do sistema nacional de CT&I e do setor privado**, com vistas à utilização e exploração das vantagens competitivas das tecnologias digitais em Materiais Avançados, objetivando o desenvolvimento de novos produtos, agregação de valor em tecnologias e produtos nacionais e a redução de dependência tecnológica externa; e,
- **Definir prioridades e implementar instrumentos** com a estrutura de governança do ecossistema para os projetos realizados no Brasil ampliar competências e resultados em negócios. Trata-se de potenciais benefícios de parcerias com plataformas abertas baseadas na WEB para acesso a dados, informações, ferramentas e resultados de análise sobre materiais conhecidos e suas previsões no desenho e desenvolvimento de novos¹²².

Cabe destacar que o Brasil está em uma corrida para, até 2022, tornar-se o 38º país membro da OCDE, e este acesso formal exige modernizar e aprimorar o ambiente de negócios e as práticas econômicas.

São claros e indiscutíveis os múltiplos benefícios de uma acessão formal do Brasil à Organização, não apenas para o sistema de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, mas, sobretudo, para os sistemas econômico, institucional e social.

Especificamente no âmbito dos Materiais Avançados, uma vez aceito como membro efetivo na OCDE, o Brasil poderá aprimorar a convergência e efetividade de seus normativos regulatórios, à exemplo das múltiplas iniciativas com forte impacto nos mercados de investimento, desenvolvimento industrial, comércio (exportação e importação), sustentabilidade, na área de “Segurança de Nanomateriais Manufaturados”

Para melhorar a colaboração público-privada e impulsionar os negócios com Materiais Avançados, uma proposta de criação e organização operacional de uma “*Rede MCTI de Tecnologias Digitais Aplicadas à Descoberta e Desenvolvimento Inteligente de Materiais Avançados*”, à exemplo da recém-criada Rede MCTI-Embrapii em Grafeno, poderia se beneficiar de uma maior articulação com a iniciativa de Transformação Digital do Fórum Econômico Mundial (WEF-DTI). A governança da rede poderia se inspirar na visão 2030, da Comissão Europeia

¹²² Exemplo, o Materials Project – (<https://www.materialsproject.org/>), e o Automatic – *FLOW for Materials Discover* do Center for Autonomous Materials Design, Materials Science, Duke University (<http://www.aflow.org/>).

para sua indústria¹²³ e a nova estratégia industrial¹²⁴, bem como do Manifesto de Materiais 2030: Abordagem Sistêmica dos Materiais Avançados para a Prosperidade: Uma perspectiva para 2030¹²⁵. A figura 31, exemplifica o ecossistema e suas principais verticais ¹²⁶.

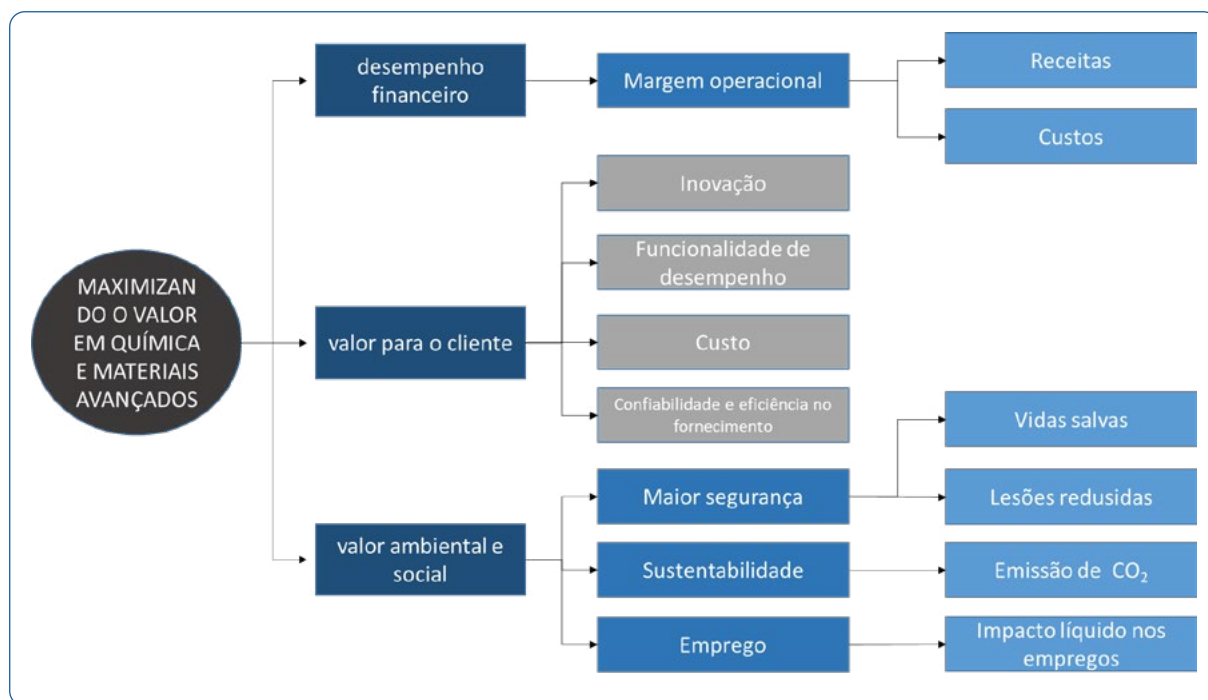


Figura 31. Ecossistema de Materiais Avançados, Principais Verticais e Colaboração Público-Privada

Fonte: DTI: A new framework for Private-Public collaboration. Indústria química e de materiais avançados – Sumário Executivo (pag 4). World Economic Forum (WEF) e Accenture (ADAPTADO). Disponível - https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/WEF/PDF/Accenture-Chemistry-And-Advanced-Materials-Industry-slideshare.pdf

No intuito de especializar o componente de negócios no ecossistema de Materiais Avançados, a governança da rede poderia observar modelos de contratualização da pesquisa de fronteira em Materiais Avançados, usadas no novo programa da Comissão Europeia para a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (Horizonte Europa 2021-2027)¹²⁷

¹²³ (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/339d0a1b-bcab-11e9-9d01-01aa75ed71a1>)

¹²⁴ https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/dialogue-expert-advice_en

¹²⁵ https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/research_by_area/documents/advanced-materials-2030-manifesto.pdf. Acesso 11/03/2022.

¹²⁶ Digital Transformation Initiative (DTI): Chemistry and Advanced Materials Industry. Disponível <https://www.de.kearney.com/chemicals/article?/a/chemical-industry-vision-2030-a-european-perspective> <https://reports.weforum.org/digital-transformation/chemistry-advanced-materials/> -- <https://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-chemistry-and-advanced-materials-industry-white-paper.pdf>. Acesso 13/10/2021.

¹²⁷ (https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget/long-term-eu-budget/eu-budget-2021-2027_en).

A Figura 32, exibe uma representação esquemática da utilização de tecnologias digitais para acelerar a redução de custos da descoberta, caracterização e desenvolvimento tecnológico de novos materiais e produtos.

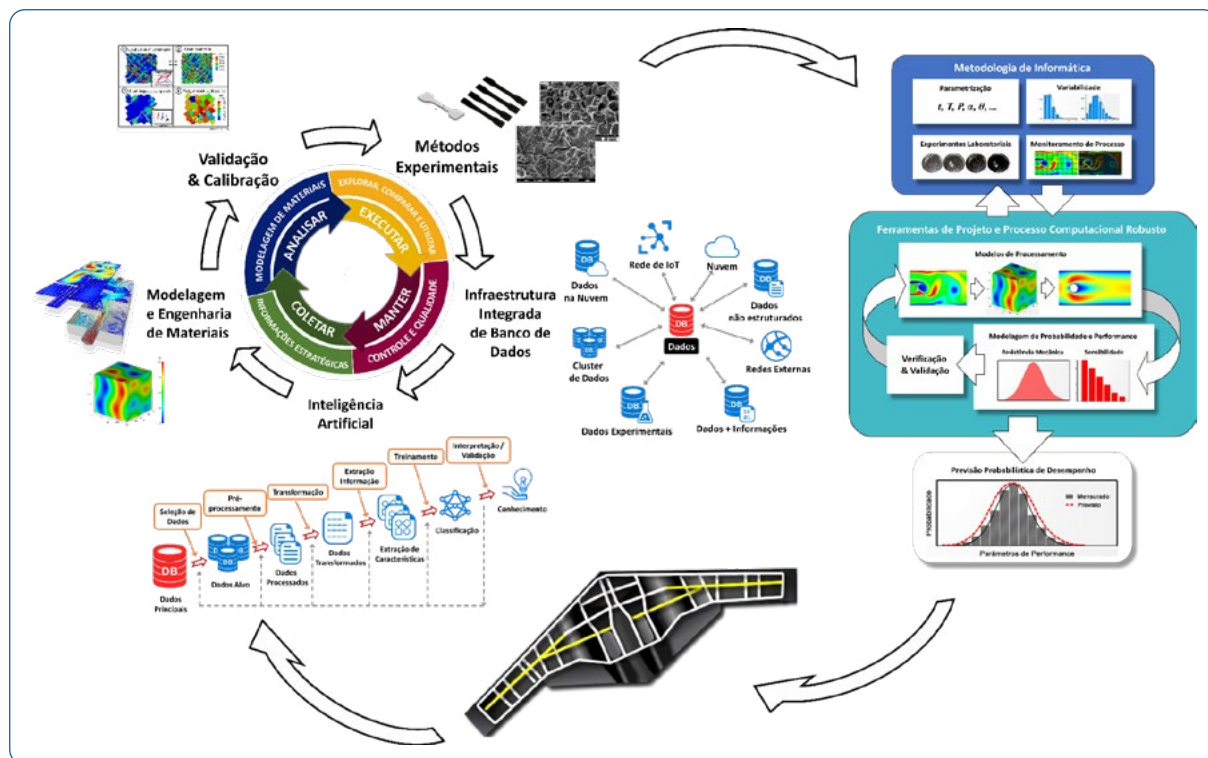


Figura 31. Representação esquemática da utilização de tecnologias digitais, tais como computação de alta performance, *big data*, internet das coisas e *machine learning*, visando a acelerar e a reduzir os custos de desenvolvimento tecnológico de novos materiais e produtos.

AÇÃO 8 FOMENTAR NOVAS ÁREAS DISRUPTIVAS EM MATERIAIS AVANÇADOS

Ao estruturar políticas setoriais de médio e longo prazos, uma nação busca identificar temáticas com potencial diferenciado de agregação futura de valor tecnológico e alcançar uma liderança em temas disruptivos potencialmente capazes de romper padrões, propriedades e desempenho existentes no mercado. O Estado possui mandato, poder e instrumentos diferenciados para estimular e fomentar novas áreas tecnológicas disruptivas, visando à geração de conhecimento tecnológico de fronteira e a agregação de valor em produtos e processos. A Política Nacional de Desenvolvimento de Materiais Avançados é um instrumento essencial para orientar as ações do Estado brasileiro nesta disruptiva área. Seguem algumas das principais orientações para o fortalecimento de novas áreas disruptivas envolvendo a área de Materiais Avançados:

- **Estimular a pesquisa científica de excelência, o desenvolvimento tecnológico direcionado preferencialmente pelo mercado**, a formação e capacitação de recursos humanos especializados, o empreendedorismo e a inovação de base tecnológica na área de Materiais Avançados, em especial, em temas com grande potencial disruptivo;
- **Fortalecer, aumentar o conhecimento e ampliar a exploração ecológica e ambientalmente sustentável** dos materiais naturais oriundos da biodiversidade e dos recursos minerais brasileiros, que exibem potencial de disrupção tecnológica nas áreas da saúde, farmacêutica, eletrônica e nanotecnologia; e
- **Fomentar, articular e ampliar o apoio a temas com grande potencial disruptivo** como, por exemplo, descoberta inteligente de novos materiais, metamateriais, mapeamento geológico marinho, nanomateriais e nanocompósitos, materiais regenerativos e derivados do grafite (nanotubos de carbono, grafeno e fulerenos), terras raras, materiais multifuncionais, para tecnologia quântica e oriundos da biodiversidade nacional, e Materiais Avançados para agricultura, energia, saúde, defesa, segurança pública, tecnologia espacial e tribologia.

A Figura 32, exibe uma representação esquemática de setores e tecnologias com potencial disruptivo diferenciado, objetivando orientar o esforço nacional para o fomento especializado dos Materiais Avançados relacionados a estas temáticas.



Figura 32. Representação esquemática de temas com diferenciado potencial disruptivo como, por exemplo, descoberta inteligente de novos materiais, metamateriais, mapeamento geológico marinho, nanomateriais e nanocompósitos, materiais regenerativos, materiais multifuncionais e outros.

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

gov.br/mcti

METAS E INDICADORES PARA MATERIAIS AVANÇADOS

5

5. METAS E INDICADORES PARA MATERIAIS AVANÇADOS

Considerando os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS – Agenda 2030) e os objetivos preconizados na Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados, cabe registrar que as metas idealizadas para o Plano assentam-se em algumas premissas, a saber: (i) o PCTIMA foi concebido como documento orientador do ecossistema, sendo então que alguns direcionamentos são externos ao MCTI, não constando como metas; (ii) com o amadurecimento do PCTIMA e discussões com os diversos atores do ecossistema de ciência, tecnologia e inovação, tal como os Ministérios que compõem o Comitê Gestor de Materiais Avanços, novas metas deverão ser idealizadas e incorporadas no Plano ao longo do tempo; e (iii) considerando a vocação inerente e longa atuação deste MCTI na agenda de Materiais Avançados, está proposto a seguir um conjunto de indicadores e metas, vinculados às ações descritas no Plano, a depender a conveniência e oportunidade do MCTI.

A Tabela 1 lista um conjunto de metas com os respectivos indicadores dirigidos ao SNCTI, em particular ao MCTI, para o acompanhamento da implementação deste Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados (PCTIMA), com validade de quatro anos.

Tabela 1. Lista de metas com os respectivos indicadores para o acompanhamento da implementação deste Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados (PCTIMA), com validade de quatro anos, dirige-se a todo o SNCTI, especialmente ao MCTI.

AÇÕES	METAS (2022-2025)	INDICADORES	UNIDADE DE MEDIDA	ODS ATENDIDOS
Ação 1 - Consolidação da Política de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados	3 (três)	Quantidade de programas e iniciativas estabelecidas	Valor Absoluto	6- Água Limpa e Saneamento; 7- Energia Acessível e Limpa; 9- Indústria, Inovação e Infraestrutura; 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; 12- Consumo e Produção Responsáveis; 13 - Combate às Alterações Climáticas; e 15- Vida Terrestre.
Ação 2 - Sistematização da Informação	1 (um)	Quantidade de sistemas estabelecidos	Valor Absoluto	6- Água Limpa e Saneamento; 7- Energia Acessível e Limpa; 9- Indústria, Inovação e Infraestrutura; 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; 12- Consumo e Produção Responsáveis; 13 - Combate às Alterações Climáticas; e 15- Vida Terrestre.
Ação 3 - Capital Humano	2 (duas)	Número de Iniciativas para formação de RH em MA	Valor Absoluto	1 - Erradicação da Pobreza; 4- Educação de Qualidade; 8- Trabalho decente e crescimento econômico; 10- Redução das desigualdades
Ação 4 - Empreendedorismo de base tecnológica	4 (quatro)	Número de Iniciativas de Promoção do Empreendedorismo em MA	Valor Absoluto	4- Educação de Qualidade; 8- Trabalho decente e crescimento econômico; 10- Redução das desigualdades

AÇÕES	METAS (2022-2025)	INDICADORES	UNIDADE DE MEDIDA	ODS ATENDIDOS
Ação 5 - Ambientes Inovadores e Aproximação ICT-Empresa	4 (quatro)	Número de Iniciativas efetivadas de Interação ICT/Empresa em MA	Valor Absoluto	8- Trabalho decente e crescimento econômico; e 9- Indústria, Inovação e Infraestrutura.
Ação 6 - Intensificar a Cooperação Internacional	2 (duas)	Número de Iniciativas de Cooperação Internacional em MA	Valor Absoluto	4- Educação de Qualidade; 8- Trabalho decente e crescimento econômico; e 17-Parcerias e Meios de Implementação.
Ação 7 - Tecnologias Digitais Para Descoberta De Novos Materiais	1 (um)	Quantidade de projetos estabelecidos	Valor Absoluto	7- Energia Acessível e Limpa; 9- Indústria, Inovação e Infraestrutura; e 12- Consumo e Produção Responsáveis.
Ação 8 - Fomentar Novas Áreas Disruptivas em Materiais Avançados	4 (quatro)	Número de Iniciativas em Áreas Disruptivas em MA	Valor absoluto	6- Água Potável e Saneamento; 9- Indústria, Inovação e Infraestrutura; 12- Consumo e Produção Responsáveis; e 14- Vida na Água.
Ação 9 - Apoiar o aprimoramento da integração de agentes públicos federais atuando na regulação em Materiais Avançados. Obs. O desenho da iniciativa e seus indicadores seguirá as orientações do “Guia Prático de Avaliação de Políticas Públicas do Governo Federal elaborado pelo IPEA (ex-ante e ex-post***-)	2 (duas)	Número de Iniciativas de integração, harmonização em MA	Valor absoluto	9- Indústria, Inovação e Infraestrutura; 12- Consumo e Produção Responsáveis.

*** - Ex-ANTE https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=32688&Itemid=433
; Ex-POST https://ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&id=34504

PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022

gov.br/mcti

CONSIDERAÇÕES FINAIS



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das disposições da Política Nacional de Desenvolvimento de Materiais Avançados (PNDMA), este Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação de Materiais Avançados, submetido e aprovado em consulta pública realizada em março de 2022, é um documento oficial atualizado de orientação aos parceiros do Sistema Nacional de CTI, vinculado à Política Nacional de Inovação (PNI-2021), à Estratégia Nacional de Inovação (ENI-2021) e à Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022). O mesmo apresenta à sociedade um conjunto de subsídios, orientações, objetivos, ações e instrumentos para, nos diversos níveis do SNCTI, articular, potencializar e explorar as sinergias e resultados das missões, programas, iniciativas e projetos na área de Materiais Avançados no Brasil. Para o pleno êxito do desenvolvimento da área de Materiais Avançados no Brasil, este Ministério estimula e convida os atores do SNCTI a contribuírem para a governança, adoção e utilização deste Plano para que produza os desdobramentos e efeitos planejados nas agendas dos parceiros explorando de forma inteligente os potenciais e particularidades de cada região do País.

DOCUMENTOS REFERENCIAIS CONSULTADOS

ALISSON, Elton, (Web site agência FAPESP). **Empresa paulista desenvolve tecido capaz de eliminar o novo coronavírus por contato**. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/empresa-paulista-desenvolve-tecido-capaz-de-eliminar-o-novo-coronavirus-por-contato/33414/>. Acesso 12/10/2021.

ARAUJO, Marcondes Moreira De. **Bioeconomia. Uma Proposta de Programa Nacional de Inovação em Biorrefinarias**. Brasília, MCTI, 2019, 18pgs, Disponível em: http://sophiaweb.mctic.gov.br/index.php?codigo_sophia=78359). Acesso em: 18/10/2021.

ARNOLD, Jens Matthias; GRUNDKE, Robert. OCDE - OECD Economics Department Working Papers nº. 1660. **Raising productivity through structural reform in Brazil**, 2021, 47pg. Disponível em: <https://www.oecd.org/publications/raising-productivity-through-structural-reform-in-brazil-84e6fbeb-en.htm>. Acesso em: 25/08/2021.

Asian Development Bank (ADB). **The 14th Five-Year Plan of the People's Republic of China — Fostering High-Quality Development. Observations and Suggestions**. Manilla, June 2021, 16pgs. Disponível em: <https://www.adb.org/publications/14th-five-year-plan-high-quality-development-prc>. Acesso em: 19/09/2021.

ATKINSON, David. ITIF. **Why the US needs a national advanced industry and technology agency**. June 2021, 29pgs. Disponível em: <https://itif.org/publications/2021/06/17/why-united-states-needs-national-advanced-industry-and-technology-agency>. Acesso em: 29/00/2021.

ATKINSON, David. ITIF. Understanding **The US Innovation System 2020**. November 2020, 31pgs. Disponível em: <https://itif.org/publications/2020/11/02/understanding-us-national-innovation-system-2020>. Acesso em: 29/00/2021.

AT Kearney Germany. **Chemical Industry Vision 2030: A European Perspective**. 2012, 15pgs. Disponível em: <https://www.de.kearney.com/chemicals/article?/a/chemical-industry-vision-2030-a-european-perspective>. Acesso 13/08/2021.

BANGA, Karishma, **The World Economic Forum COVID Action Platform: 3 ways digital technology can help drug makers fight COVID-19**. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/3-ways-digital-technology-can-help-drug-makers-fight-covid-19/>. Acesso 12/01/2021.

BAUMGARTNER, Thomas, DHAWAN, Rajat, PADHI, Asutosh. MCKINSEY. **The CEO agenda for companies in advanced industries**. February 2021, 15pgs. Disponível em: <https://www.mckinsey.com.br/industries/advanced-electronics/our-insights/the-ceo-agenda-for-companies-in-advanced-industries>. Acesso em: 27/09/2021.

BDI, Z-Punkt. **Germany 2030 Future perspectives for value creation**, 2013, 114 pgs. Disponível em: https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/sites/default/files/generated/document/en/Germany_2030.pdf. Acesso em: 09/10/2021.

BELLUCCI, Felipe S. **Políticas públicas na área de materiais avançados, principais características e tendências**: sugestões à política de CT&I brasileira. Brasília: ENAP, 2019. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/3862?locale=en>. Acesso em: 25/08/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação**: 2016-2022: ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento econômico e social. Brasília: MCTI, 2016. Disponível em: http://www.MCTI.gov.br/MCTI/export/sites/institucional/arquivos/ASCOM_PUBLICACOES/encti_2016-2022.pdf. Acesso em: 19/08/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Plano de ação para a Promoção da Inovação Tecnológica (2018-2022)**. Disponível em: <https://www.inova.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/16182031-plano-acao-promocao-inovacao-tecnologica.pdf>. Acesso em 27/10/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital)**. Disponível: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-de-conteudo/comunicados-mcti/estrategia-digital-brasileira/estrategiadigital.pdf>. Acesso em: 28/10/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN)**, instituída pela Portaria nº 3.459, de 26 de julho de 2019. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-3.459-de-26-de-julho-de-2019-209514505>. Acesso em: 27/10/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO)**, instituí-

do pela Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012, regulamentado pela Instrução Normativa nº 11, de 02 de agosto de 2019. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/incentivo_desenvolvimento/sisnano/arquivo-sisnano/PDF-3-Portaria-MCTIC-245-SisNANO.pdf. Acesso em: 27/10/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Manufatura Avançada no Brasil (ProFuturo - Produção do Futuro)**. Brasília: MCTI, 2017, 69pgs. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologias_convergentes/arquivos/Cartilha-Plano-de-CTI_WEB.pdf. Acesso em: 19/08/2021.

BRASIL. **Plano Nacional de Internet das Coisas**. Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm. Acesso em: 19/08/2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Minerais Estratégicos**. Brasília-D MCTI, 2018, 50pgs. Disponível em: <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Ciencia-Tecnologia-e-Inovacao-Para-Minerais-Estrategicos.pdf>. Acesso em: 19/08/2021.

BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Organizadores, Lenita Maria Turchi, José Mauro de Moraes. **Políticas de Apoio Tecnológico à Inovação Tecnológica no Brasil: Avanços Recentes, Limitações e propostas de Ações**, Brasília-DF, 2017, 492pgs. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8125/1/Pol%C3%ADticas%20de%20apoio%20%C3%A0%20inova%C3%A7%C3%A3o%20tecnol%C3%B3gica%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 19/09/2021.

BRICS STI Framework Programme. **5th coordinated call for BRICS multilateral projects 2021**. Disponível em: <http://brics-sti.org/>. Acesso em: 09/10/2021.

CECAM (Centre Européen de Calcul Atomique et Moléculaire). **Accelerating material discovery by smart high-throughput computations**. Disponível em: <https://www.cecam.org/workshop-details/104>. Acesso em: 13/09/2021.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Materiais avançados [no Brasil]: 2010-2022**. Brasília: CGEE, 2010, 360pgs. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Livro_Materiais_Avancados_2010_6367.pdf. Acesso em: 19/08/2021.

CHANG, Jinke et al. **Advanced Material Strategies for Next-Generation Additive Manufacturing**. January 2018, 17pgs. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29361754/>. Acesso em: 19/08/2021.

CHINA. FUJIAN PROVINCE. **Outline of the 14th Five-Year Plan (2021-2025) for National Economic and Social Development and Vision 2035 of the People's Republic of China**. 2021, Disponível em: https://www.fujian.gov.cn/english/news/202108/t20210809_5665713.htm. Acesso em: 19/09/2021.

CHOI, Moonjung, CHOI, Han-Lim. Korea Institute of S&T Evaluation and Planning (KISTEP). **Foresight for Science and Technology Priority Setting in Korea**. Foresight and STI Governance, Vol. 9, No 3, 2015, 12pgs. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/51181905.pdf>. Acesso em: 13/10/2021.

CLARK, Lincoln. KPMG (Web site USA). **Global semiconductor practice - KPMG's perspectives and thought leadership on the global semiconductor industry. Global Semiconductor Industry Outlook 2021**. 2021, 24pgs. Disponível em: <https://www.kpmg.us/industries/technology/global-semiconductor-practice.html>. Acesso em: 29/10/2021.

COOPER, Benjamin. Hill+Knowlton Strategies (Web site). **China's 14th Five-Year Plan (2021-2025) Report**. April, 2021, 12pgs. Disponível em: <https://www.hkstrategies.com/en/chinas-14th-five-year-plan-2021-2025-report/>. Acesso em: 20/09/2021.

DELOITTE. **Semiconductors: The Next Wave Opportunities and winning strategies for semiconductor companies**, April 2019, 59pgs. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/tw/en/pages/technology-media-and-telecommunications/articles/semiconductor-next-wave.html>. Acesso em: 12/10/2021.

DICKSON, Duane; ALDRED Tom; CARBECL Jeff. **Driving innovation: Advanced Materials Systems**. Deloitte Touche Tohmatsu Limited Global Manufacturing Industry group, 2013, 28ps. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/advanced-manufacturing/advanced-materials-systems.html>. Acesso em: 02/09/2021.

ERNST YOUNG Brazil, UK GOVERNMENT. **Green Finance Programme: Oportunidades de Investimento em Infraestrutura Sustentável no Brasil**. September 2020, 82pgs. Disponível em: <https://ukbrazilgreenfinanceprogramme.com/>. Acesso em: 17/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION. **European circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe**. Brussels, 2020, 21pgs. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/pdf/circular-economy/new_circular_economy_action_plan.pdf. Acesso em: 09/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Horizon Europe: Strategic Plan 2021 - 2024**. Brussels, 2021, 101pgs. Disponível em: https://eeas.europa.eu/sites/default/files/horizon_europe_strategic_plan_2021-2024.pdf. Acesso em: 17/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION/NESTA. Growth Lab. **Boosting experimental innovation policy in Europe: How innovation agencies are embracing randomised experimentation Innovation**. Brussels/London, 2021, 25pgs. Disponível em: https://www.innovationgrowthlab.org/sites/default/files/IGL001_IGLReport_v8_020321.pdf. Acesso em: 29/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION. CATTANEO Gabriella (IDC), SCHAUCHUK, Palina Schauchuk (Technopolis Group). **Advanced Technologies for Industry: International Report on South Korea: Technological capacities and key policy measures**. Brussels, July 2020, 15pgs. Disponível em: https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-07/ATI_international%20report_South_Korea.pdf. Acesso em: 19/09/2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Horizon Europe - The Next EU Research & Innovation Investment Programme (2021 - 2027)**, Version 25, Brussels, May 2019, 57pgs. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/presentations/horizon_europe_en_investing_to_shape_our_future.pdf. Acesso em: 11/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Reports on Advanced Technologies for Industry: Advanced Materials**. Disponível em: <https://ati.ec.europa.eu/technologies/advanced-materials>. Acesso em: 09/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION. **Generating competitive advantage and coping with societal challenges by purposefully applying advanced materials**. Disponível em: <https://ati.ec.europa.eu/news/generating-competitive-advantage-and-coping-societal-challenges-purposefully-applying-advanced>. Acesso em: 09/10/2021.

EUROPEAN COMMISSION. European Materials Modelling Council (EMMC). **MATERIALS 2030 MANIFESTO Systemic Approach of Advanced Materials for Prosperity - A 2030 Perspective**. Disponível em: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/research_by_area/documents/advanced-materials-2030-manifesto.pdf. Acesso em: 11/03/2022.

FEATHERSTON, Charles, O'SULLIVAN, Eoin. **A Review of International Public Sector Strategies and Roadmaps: A Case Study in Advanced Materials.** Science, Technology Innovation Policy (CSTI), Management Technology Policy (IfM), UK Government, Department for Business, Innovation & Skills. University of Cambridge, Cambridge, UK, 2014, 109pgs. Disponível em: <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/insights/national-innovation-policies/a-review-of-international-public-sector-roadmaps-advanced-materials/>. Acesso em: 13/09/2021.

FORATO, Fidel (Canaltech Web site) **Novo material promete revolucionar a robótica e as roupas inteligentes.** Disponível em: <https://canaltech.com.br/robotica/novo-material-promete-revolucionar-a-robotica-e-as-roupas-inteligentes-152133/>. Acesso 12/10/2021.

Inovação Tecnológica (Web site). **Inteligência Artificial descobre novo material tecnológico.** Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=inteligencia-artificial-descobre-novo-material-tecnologico&id=010160210108>. Acesso em: 12/10/2021.

Inovação Tecnológica (Web site). **Revolução nos materiais inteligentes para os aviões do futuro.** Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=revolucao-materiais-inteligentes-avioes-futuro&id=010170180917>. Acesso 12/10/2021.

FRITSCH, RAINER. **Current R&I policy: The future development of China's R&I system.** Fraunhofer Institute. Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 63. Karlsruhe, 2020, 38pgs. Disponível em: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cci/innovation-systems-policy-analysis/2020/discussionpaper_63_2020.pdf. Acesso em: 12/10/2021.

GERMANY. Federal ministry of Economics and Technology (BMWi). **The German Government's raw materials strategy: Safeguarding a sustainable supply of non-energy mineral resources for Germany.** Berlin/Bonn, 2010, 28pgs. Disponível em: <https://foes.de/pdf/rohstoffstrategie%20bundesregierung%20englisch.pdf>. Acesso em: 13/10/2021.

GERMANY. German Environment Agency. **Advanced materials: Overview of the field and screening criteria for relevance assessment.** Hamburg, 2020, 106pgs. Disponível em: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-06_texte_132-2020_overview-advanced-materials_0.pdf. Acesso em: 29/10/2021.

GERMANY. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). **Made in Germany Industrial Strategy 2030. Guidelines for a German and European Industrial Policy**. Berlin/Bonn, 2019, 40pgs. Disponível em: https://www.bmwi.de/Navigation/EN/Topic/topic.html?cl2Categories_LeadKeyword=industriepolitik. Acesso em: 16/09/2021.

GERMANY. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). **A Modern Industrial Policy**. Berlin/Bonn, 2019, 40pgs. Disponível em: <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/modern-industry-policy.html>. Acesso em: 16/09/2021.

GERMANY. **Advanced Manufacturing**: Includes a market overview and trade data. Disponível em:

<https://www.trade.gov/knowledge-product/germany-advanced-manufacturing>. Acesso em: 28/10/2021.

GIL, Dario. The World Economic Forum. **Scientific discovery must be redefined. Quantum and AI can help**. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/scientific-discovery-must-be-redefined-quantum-and-ai-can-help/>. Acesso 13/10/2021.

GIL, Dario. The World Economic Forum. **The world's supercomputers joined forces against COVID-19 - why such collaborations are critical for tackling future emergencies**. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/super-computer-covid-19-ibm-scientific-global-collaboration>. Acesso 14/10/2021.

GRANT. Patrick, University of Oxford. UK Government Office for Science. **New and advanced materials: Future of Manufacturing Project. Chemistry input into the manufacturing of novel materials and future trends in food manufacturing**. Evidence Paper 10, Foresight, October 2013, 57pgs. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/283886/ep10-new-and-advanced-materials.pdf. Acesso em: 29/10/2021

JUNG, Jiwon. **KOREA. R&D Policies of Korea and Their Implications for Developing Countries J South Korea**. International University of Japan. 2013, 25pgs. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/258190356_RD_Policies_of_Korea_and_Their_Implications_for_Developing_Countries. Acesso em: 10/10/2021.

KIRSTIN Alberi, et al, J. Phys. D. Journal of Physics D: Applied Physics; **The 2019 materials by design roadmap**, 2019, 49pgs. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6463/aad926/pdf>. Acesso 13/08/2021.

KPMG. **Technology Industry CEO Outlook Digital transformation, ESG, and supply chain are in focus as new risks emerge**, 2020, 27pgs. Disponível em: <https://home.kpmg/dp/en/home/insights/2020/12/technology-industry-ceo-outlook.html>. Acesso em: 16/09/2021.

MAN, Xie, YONG, Gan, HUI, Wang. 1. **Strategic Study of Chinese Academy of Engineering. Research on New Material Power Strategy by 2035**. 2020, Vol 22, Issue 5, Pages 1-9. 2020, 11pgs. Disponível em: <https://www.engineering.org.cn/en/10.15302/J-SSCAE-2020.05.001>. Acesso em: 12/10/2021.

McKINSEY & COMPANY. **A year of disruption in the private markets. McKinsey Global Private Markets Review 2021**, April 2021, 64pg. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/industries/private%20equity%20and%20principal%20investors/our%20insights/mckinseys%20private%20markets%20annual%20review/2021/mckinsey-global-private-markets-review-2021-v3.pdf>. Acesso em: 09/10/2021.

McKINSEY & COMPANY. **Chemicals Manufacturing 2030**. 2019, 17pgs. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/-/media/McKinsey/Business%20Functions/Operations/Our%20Insights/Chemicals%20manufacturing%202030/Chemicals-2030-interactive.pdf>. Acesso 13/10/2021.

M. F. Oliveira e Silva e L. M. Costa. **A indústria de defensivos agrícolas**. BNDES Setorial 35, 2012, p. 233 – 276. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1513/1/A%20set.35_A%20ind%C3%BAstria%20de%20defensivos%20agr%C3%ADcolas_P.pdf. Acesso em: 29/10/2021

MONTANINO, Andrea, DEL GIOVANE, Chiara, CARRIERO, Alberto. Centre for European Policy Studies (CEPS), **Strategic Value Chains Towards a Resilient and Sustainable Post-Pandemic Recovery**. Brussels, 2021, 24pgs. Disponível em: <https://www.ceps.eu/ceps-publications/strategic-value-chains/>. Acesso em: 06/10/2021.

NAGAOKA, Sadao, KONDO, Masayuki, FLAMM, Kenneth, WESSNER, Charles. National Research Council. **21st Century Innovation Systems for Japan and the United States. Lessons from a Decade of Change**. Report of a Symposium (2009). 2009, 304pgs. Disponível em: <https://www.nap.edu/catalog/12194/21st-century-innovation-systems-for-japan-and-the-united-states>. Acesso em: 29/10/2021

NATURE INDEX (International Journal Web site). **2020 South Korea**. Disponível em: <https://www.nature.com/collections/aeigjdecdej>. Acesso em: 10/10/2021.

OECD. **Reviews of Innovation Policy: NETHERLANDS Overall Assessment and Recommendations**. Paris, 2014, 30pgs. Disponível em: <https://www.oecd.org/sti/inno/netherlands-innovation-review-recommendations.pdf>. Acesso em: 28/10/2021.

OECD **The Next Production Revolution Implications for Governments and Business**. Paris, May 2017, 440pgs. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/the-next-production-revolution_9789264271036-en. Acesso em: 09/10/2021.

OECD. **Collaborative platforms for innovation in advanced materials**. Science, Technology and Industry Policy Papers nº 95. Paris, December 2020, 67pgs. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/collaborative-platforms-for-innovation-in-advanced-materials_bb5225f1-en. Acesso em: 09/10/2021.

OECD. **Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences** (OECD Publishing, Paris), 2019. <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>. Acesso em 08/03/2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). **Relatório de Ciências UNESCO 2021: A corrida contra o tempo por um desenvolvimento mais inteligente. Visão geral e cenário brasileiro, 2021**. Paris, Junho 2021, 49pgs Disponível em: <https://pt.unesco.org/news/relatorio-da-unesco-pede-aumentos-substanciais-no-investimento-em-ciencia-em-face-cri-ses>. Acesso em: 27/08/2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Brasil: ONU, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 19/08/2021.

PACKROFF, Rolf (BAuA) VOLKER, Doris (UBA) MUTZ, Diana (BfR) BRESCH, Harald (BAM), BOSSE, Harald (PTB). Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM). **Review of the joint research strategy of the higher federal authorities; Nanomaterials and other advanced materials: Application safety and environmental compatibility**, 2016, 32pgs. Disponível em: <https://www.bfr.bund.de/cm/349/nanomaterials-and-other-advanced-materials-application-safety-and-environmental-compatibility-review-of-the-joint-research-strategy-of-the-higher-federal-authorities.pdf>. Acesso em: 28/10/2021.

PORTUGAL. FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia. **Diagnóstico do Sistema de Investigação e Inovação: desafios, forças e fraquezas rumo a 2020, a Estratégia Nacional.** Lisboa, 2013, Disponível em: http://www.fct.pt/esp_inteligente/. Acesso em: 29/10/2021.

PORTUGAL. Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). **Estratégia de Investigação e Inovação (EI&I) para uma Especialização Inteligente.** Lisboa, novembro 2014, 116pgs. Disponível em: https://www.portugal2020.pt/sites/default/files/enei_versao_final_0.pdf. Acesso em: 29/10/2021.

SINGAPORE. **Research Innovation Enterprise (RIE) 2020 Plan Winning the Future through Science and Technology.** 2016, 45pgs. Disponível em: <https://www.mti.gov.sg/-/media/MTI/Resources/Publications/Research-Innovation-and-Enterprise-RIE-2020/RIE2020.pdf>. Acesso em: 09/10/2021.

SINGAPORE. **Research, Innovation and Enterprise 2025 Plan.** 2021, 60pgs. Disponível em: https://www.nrf.gov.sg/docs/default-source/default-document-library/rie_booklet_fa2021_pages.pdf. Acesso em: 11/10/2021.

THE NETHERLANDS. **Dutch Materials Agenda - Accelerating Materials Technologies.** Materials NL platform: Consortium of universities, NWO Institutes, technology institutes & Dutch industry, 2020, 21pgs. Disponível em: <https://materialennl-platform.nl/wp-content/uploads/2021/03/Dutch-Materials-Agenda-Accelerating-Materials-Technologies.pdf>. Acesso em: 28/10/2021

THE NETHERLANDS. MATERIALS – **Made in the Netherlands Multidisciplinary Research and Innovation strategy combining physics-chemistry-engineering addressing the Dutch Knowledge and Innovation Agenda (KIA).** Materials NL platform: Consortium of universities, NWO Institutes, technology institutes & Dutch industry, Amsterdam, 2020, 24pgs. Disponível em: https://amolf.nl/wp-content/uploads/2020/02/Materials_made_in_the_Netherlands_research_and_innovation_strategy_concept_28_1_2020.pdf. Acesso em: 15/10/2021.

THE NETHERLANDS. LAROSSE, Jan. **Smart Industry. Analysis of National Initiatives on Digitising European Industry.** Amsterdam, 2017, 23pgs. Disponível em: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/nl_country_analysis.pdf. Acesso em: 15/10/2021.

THE NETHERLANDS. **The potential of emerging technology in the Netherlands. Analysis of Dutch deep tech ecosystems' potential impact to determine winning strategies,** Birch, TechLeap, Amsterdam, 2021, 48pgs. Disponível em: <https://>

www.datocms-assets.com/34494/1624546344-reporttechleap-winning-strategiesbirch-final-public-version-2.pdf. Acesso em: 15/10/2021.

THE NETHERLANDS. **Dutch Materials: Challenges for Materials Science in the Netherlands. Report from a combined physics, engineering and chemistry perspective**. Amsterdam, 2015, 49pgs. Disponível em: https://www.nwo-i.nl/wp-content/uploads/2016/03/dutch-materials-challenges-finale-version-1-12-2015_factual-corr160310-325740.pdf. Acesso em: 17/10/2021.

THE NETHERLANDS (Web site). **A Circular Economy in the Netherlands by 2050**. Disponível em: <https://www.government.nl/topics/circular-economy/circular-dutch-economy-by-2050>. Acesso em: 15/10/2021.

UK GOVERNMENT. Innovate UK, KTN Global Alliance. **Global Expert Mission Advanced Materials in South Korea 2018**. May 2018, 18pgs. Disponível em: https://ktn-uk.org/wp-content/uploads/2020/12/B3_7_KTN_SouthKorea_AdvancedMaterials.pdf. Acesso em: 09/10/2021.

UK GOVERNMENT. Department for Business, Energy and Industrial Strategy. **UK Innovation Strategy Leading the future by creating it**. London, July 2021, 116pgs. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1009577/uk-innovation-strategy.pdf. Acesso em: 19/09/2021.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. **UNIDO. World Manufacturing Production (Report)**. September 2021, 17pgs. Disponível em: <https://stat.unido.org/content/publications/world-manufacturing-production#>. Acesso em: 19/09/2021.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. **UNCTAD - World Investment Report 2021 investing in sustainable recovery**. Geneva, 2021, 280pgs. Disponível em: <https://unctad.org/webflyer/world-investment-report-2021>. Acesso em: 16/10/2021.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. **UNCTAD Technology and Innovation Report 2021 - Catching technological waves: The Great Divide Between Nations**. Geneva, February 2021, 196pgs. Disponível em: <https://unctad.org/page/technology-and-innovation-report-2021>. Acesso em: 27/09/2021.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. ESCAP. **Evolution of Science, Technology and Innovation Policies for Sustainable Development: The Experiences of China, Japan, the Republic of Korea and Singapore**. Seoul, 2018, 131pgs. Disponível em: https://www.unescap.org/sites/default/d8files/knowledge-products/UN_STI_Policy_Report_2018.pdf. Acesso em: 17/09/2021.

World Economic Forum, ITACHI, Ltd. and Ministry of Economy, Trade and Industry (METI), Japan. **Rebuilding Trust and Governance: Towards Data Free Flow with Trust (DFFT)** White Paper. March, 2021, 28pgs. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_rebuilding_trust_and_Governance_2021_JPN.pdf. Acesso em: 27/10/2021.

World Economic Forum. **Global Network of Advanced Manufacturing Hubs, Annual Report 2020**. March, 2021, 21pgs. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Network_of_Advanced_Manufacturing_Hubs_2021.pdf. Acesso em: 05/10/2021.

World Economic Forum. **Global Technology Governance A Multistakeholder Approach**, November 2019, 36pgs. Disponível em: <https://www.weforum.org/whitpapers/global-technology-governance-a-multistakeholder-approach>. Acesso em: 29/09/2021.

World Economic Forum in Collaboration with Deloitte. **Global Technology Governance Report 2021: Harnessing Fourth Industrial Revolution Technologies in a COVID-19 World**. Insight Report, December 2020, 67pgs. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Technology_Governance_2020.pdf. Acesso em: 03/10/2021.

World Economic Forum. **Global Technology Governance. A Multistakeholder Approach**, Geneva, 2019, 36pgs. Disponível em: <https://www.weforum.org/whitpapers/global-technology-governance-a-multistakeholder-approach>. Acesso em: 13/09/2021.

World Economic Forum. **Global Technology Governance Report 2021: Harnessing Fourth Industrial Revolution Technologies in a COVID-19 World** in Collaboration with Deloitte. Insight Report, Geneva, 2020, 67pg. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Technology_Governance_2020.pdf. Acesso em: 16/09/2021.

YIM, Deok Soon, LEE, Jaewon. UNESCO. Science Report 2015. Republic of Korea, Chapter 25. Paris, 2015, 16pgs. Disponível em: https://en.unesco.org/sites/default/files/usr15_republic_of_korea.pdf. Acesso em: 16/10/2021.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABDI** – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
- BNDDES** – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CAPES** – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CBCIN** – Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia
- CBPF** – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
- CCFOTO** – Comitê Consultivo de Fotônica
- CCNANOMAT** – Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais
- CEPID** – Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão
- CGEE** – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
- CGTH** – Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras
- CIN** – Comitê Interministerial de Nanotecnologias
- CNI** – Confederação Nacional da Indústria
- CNPq** – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- COPPE** – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
- DETAP** – Departamento de Tecnologias Aplicadas
- EMBRAPPI** – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
- ENCTI** – Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
- ENI** – Estratégia Nacional de Inovação
- FAP** – Fundação de Amparo à Pesquisa
- FAPESP** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
- FAPERJ** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
- FAPEMIG** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
- FINEP** – Financiadora de Estudos e Projetos
- FNDCT** – Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- IBN** – Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia
- ICT** – Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
- IES** – Instituição de Educação Superior
- INCT** – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MD – Ministério da Defesa

ME – Ministério da Economia

MEC – Ministério da Educação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

MS – Ministério da Saúde

NANoREG – *A common European approach to the regulatory testing of nanomaterials*

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SEMPI – Secretaria de Empreendedorismo e Inovação

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SibratecNANO – Sistema Brasileiro de Tecnologia: Centros de Inovação em Nanotecnologia

SisNANO – Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias

SISFóton – Sistema Nacional de Laboratórios de Fotônica

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
E INOVAÇÕES



CONTATO E INTERLOCUÇÃO

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI)

Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI)

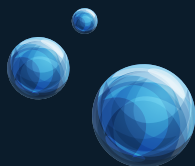
Departamento de Tecnologias Aplicadas (DETAP)

Coordenação-Geral de Tecnologias Habilitadoras (CGTH)

Endereço: Esplanada dos Ministérios, Bloco E, 3º Andar, Sala 390, Brasília-DF, CEP 70067-900

Email: cgth@mcti.gov.br

Telefone: (+55 61) 2033-7424



PLANO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

EM MATERIAIS AVANÇADOS

2022



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
E INOVAÇÕES



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL